



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING TESTING

DIAGNOSTIKA ŽELEZOBETONOVÉ KONSTRUKCE

DIAGNOSTICS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Monika Holbová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR CIKRLE, Ph.D.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

| | |
|-------------------------|---|
| STUDIJNÍ PROGRAM | N3607 Stavební inženýrství |
| TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU | Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia |
| STUDIJNÍ OBOR | 3607T009 Konstrukce a dopravní stavby |
| PRACOVÍŠTĚ | Ústav stavebního zkušebnictví |

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

| | |
|-------------------------|---------------------------------------|
| DIPLOMANT | Bc. Monika Holbová |
| NÁZEV | Diagnostika železobetonové konstrukce |
| VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE | Ing. Petr Cikrle, Ph.D. |
| DATUM ZADÁNÍ | 31. 3. 2016 |
| DATUM ODEVZDÁNÍ | 13. 1. 2017 |

V Brně dne 31. 3. 2016

.....
doc. Ing. Pavel Schmid, Ph.D.

Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA

Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Cikrle, P. a kol. Diagnostické metody ve stavebnictví. Studijní opora, VUT v Brně FAST, 2011

Bažant, Z., Klusáček, L. Statika při rekonstrukcích objektů. Skriptum VUT v Brně FAST, CERM Brno, 2002.

Holický, M. a kol. Příručka pro hodnocení existujících konstrukcí. 1. vydání Praha: ČVUT, 2007.

ČSN ISO 13822, ČSN 730038, ČSN EN 13791, ČSN 732011 a navazující platné normy.

Podklady o objektu získané od vlastníka objektu.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

Zpracování metodiky průzkumu a hodnocení existujících železobetonových konstrukcí s důrazem na využití nedestruktivních metod.

Porovnání rozdílných přístupů k nedestruktivním zkouškám v normách ČSN 732011 a ČSN EN 13791.

Přehled diagnostických metod pro průzkum železobetonových konstrukcí a jejich vzájemné srovnání z hlediska možnosti provedení a dosažených výsledků.

Praktická část:

Prvotní prohlídka vybrané železobetonové konstrukce.

Dokumentace stávajícího stavu a poruch objektu.

Návrh diagnostiky konstrukce - metody, počty zkoušek, rozmístění na konstrukci.

Provedení zkoušek in situ - diagnostika výztuže, nedestruktivní měření betonu, odběry vzorků jádrovým vtáním.

Laboratorní zkoušky na vzorcích odebraných z konstrukce, vyhodnocení zkoušek.

Statické posouzení vybraného kritického prvku konstrukce.

Závěrečné zhodnocení objektu z hlediska budoucího využití.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....

Ing. Petr Cikrle, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Táto diplomová práca sa zaoberá stavebným prieskumom a diagnostikou budovy železničného nádražia vo Vítkoviciach. Popisuje postup prieskumu a hodnotenia existujúcich železobetónových konštrukcií a v praxi používané diagnostické metódy. V praktickej časti je prevedený prieskum objektu, ktorý zahŕňa prvotnú prehliadku, výber skúšobných miest, odobranie skúšobných telies z konštrukcie, laboratórne skúšanie a vyhodnotenie výsledkov – stanovenie pevnosti betónu v tlaku so zatriedením betónu do pevnostnej triedy a modulu pružnosti. Posledná časť obsahuje statický výpočet vybranej časti konštrukcie.

Abstract

This diploma thesis deals with the building survey and diagnosis of the station building of a railway station in Vítkovice. It describes process of survey and evaluation of existing reinforced concrete structures and used diagnostic methods. The survey of the object is described in the practical part of the thesis, which involves location of testing spots, taking the samples for testing from the structure, laboratory testing and evaluation of the results – determination of compressive strength of concrete with classification of concrete and elastic modulus. The last part includes static calculation of selected part of the structure.

Kľúčové slová

Prieskum existujúcich konštrukcií, hodnotenie existujúcich konštrukcií, železobetón, pevnosť v tlaku, modul pružnosti, diagnostické metódy, nedeštruktívne metódy, deštruktívne metódy, statický výpočet.

Key words

Survey of existing structures, evaluation of existing structures, reinforced concrete, compressive strength, elastic modulus, diagnostic methods, nondestructive methods, destructive methods, static calculation.

Bibliografická citácia

Bc. Monika Holbová *Diagnostika železobetonové konstrukce*. Brno, 2017. 84 s., 14 s. příl.

Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Ing. Petr Cikrle, Ph.D.

Prehlásenie

Prehlasujem, že som diplomovú prácu spracovala samostatne a že som uviedla všetky použité informačné zdroje.

V Brne dňa 11. 1. 2017

Bc. Monika Holbová

autor práce

Pod'akovanie

Rada by som pod'akovala členom Ústavu stavebného skúšobníctva za ich podporu, užitočné rady a pripomienky počas tvorby tejto záverečnej práce a to predovšetkým môjmu školiteľovi Ing. Petru Cikrlovi, Ph.D. a rovnakou mierou i Ing. Ondřeji Antonovi, Ph.D. Ďalej by som rada pod'akovala svojim blízkym za ich neustálu podporu v priebehu celého štúdia.

Diplomová práca bola vypracovaná s pomocou projektu Ministerstva kultúry ČR: „Analýza a prezentace hodnot moderní architektury 60. a 70. let 20. století jako součástí národní a kulturní identity ČR“ (DG16P02R007).

Obsah:

| | |
|--|-----------|
| 1. Úvodná časť | 9 |
| 1.1. Úvod | 9 |
| 1.2. Ciele..... | 10 |
| 2. Hodnotenie existujúcich konštrukcií | 11 |
| 2.1. Súčasný stav | 11 |
| 2.2. Všeobecné zásady hodnotenia konštrukcií..... | 11 |
| 2.2.1. Metodika hodnotenia podľa ČSN ISO 13822 | 13 |
| 3. Prieskum existujúcich železobetónových konštrukcií | 14 |
| 3.1. Zásady | 14 |
| 3.1.1. Stavebne technický prieskum | 15 |
| 3.2. Materiál železobetónových konštrukcií..... | 16 |
| 3.2.1. Betón | 16 |
| 3.2.2. Betonárska výstuž | 17 |
| 3.2.3. Predpínacia výstuž | 19 |
| 3.3. Vlastnosti železobetónových konštrukcií | 19 |
| 3.3.1. Rovnomernosť betónu | 20 |
| 3.3.2. Modul pružnosti betónu | 21 |
| 3.3.3. Pevnosť betónu v tlaku | 24 |
| 3.4. Diagnostika stavebných konštrukcií | 27 |
| 3.4.1. Nedeštruktívne metódy | 27 |
| 3.4.2. Semideštruktívne metódy | 28 |
| 3.4.3. Deštruktívne metódy | 29 |
| 3.4.4. Kalibračné vzťahy | 29 |
| 3.4.5. Skúšanie betónu podľa rôznych predpisov | 31 |
| 3.5. Metódy pre zisťovanie vlastností betónu | 32 |
| 3.5.1. Tvrdomerná odrazová metóda | 32 |
| 3.5.2. Ultrazvuková impulzová metóda | 33 |
| 3.5.3. Jadrové vývrty..... | 35 |
| 3.5.4. Rezonančná metóda | 37 |
| 3.6. Metódy pre zisťovanie vystuženia betónu | 38 |
| 3.6.1. Elektromagnetický indikátor výstuže | 38 |
| 3.6.2. Georadar..... | 39 |
| 3.6.3. Rádiografická metóda | 40 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 3.6.4. | Odsekanie krycej vrstvy betónu..... | 41 |
| 4. | Postup hodnotenia existujúcej železobetónovej konštrukcie ... | 43 |
| 4.1. | Úvod..... | 43 |
| 4.1.1. | Popis objektu..... | 43 |
| 4.2. | Predbežný prieskum objektu | 46 |
| 4.3. | Prevedenie skúšok in situ | 47 |
| 4.3.1. | Lokalizácia výstuže..... | 47 |
| 4.3.2. | Jadrové vývrty..... | 49 |
| 4.4.3. | Hĺbka karbonatácie | 52 |
| 4.4. | Laboratórne skúšky | 53 |
| 4.4.1. | Skúšobné telesá..... | 53 |
| 4.4.2. | Ultrazvuková impulzová metóda | 55 |
| 4.4.3. | Rezonančná metóda | 55 |
| 4.4.4. | Skúška pevnosti v tlaku v zaťažovacom lise | 56 |
| 4.4.5. | Statický modul pružnosti | 57 |
| 4.5. | Vyhodnotenie nameraných dát | 59 |
| 4.5.1. | Pevnosť v tlaku | 59 |
| 4.5.2. | Dynamický modul pružnosti betónu..... | 62 |
| 4.5.3. | Porovnanie dynamických modulov pružnosti..... | 66 |
| 4.5.4. | Statický modul pružnosti | 68 |
| 4.5.5. | Porovnanie dynamického a statického modulu pružnosti..... | 71 |
| 5. | Posúdenie vybraného prvku | 73 |
| 6. | Záver..... | 75 |
| 7. | Zoznam použitých zdrojov | 76 |
| 8. | Zoznam obrázkov, tabuliek a grafov..... | 78 |
| 8.1. | Zoznam obrázkov..... | 78 |
| 8.2. | Zoznam tabuliek..... | 81 |
| 8.3. | Zoznam grafov | 82 |
| 9. | Zoznam veličín, symbolov a skratiek | 82 |
| 10. | Zoznam príloh..... | 84 |

1. Úvodná časť

1.1. Úvod

Architektúra dáva tvár našim mestám a okoliu. Jej kultúrne dedičstvo je o to dôležitejšie, pokiaľ si uvedomíme, že z mnohých stavieb minulosti sa zachovalo len pár takých, ktoré dnes označujeme ako historické. Takéto stavby prežili napriek urbanistickým zmenám v okolí a svojmu účelu slúžia mnoho rokov. Kultúrnym dedičstvom vo forme zachovalých budov z predošlých storočí sa nemôže pýšiť každý národ a preto jeho zachovanie v čo možno najlepšom stave je nielen určitou morálnou nutnosťou, ale i vyjadrením rešpektu ku generáciám, ktoré vytvorili históriu nášho národa.

Zmeny vo využívaní historických objektov, zmeny v okolí a nesprávna alebo zanedbaná údržba vykazujú na objektoch stopy poškodenia. V súčasnej dobe je snaha takéto objekty chrániť a to nielen z obdobia počiatku betónového staviteľstva ale aj stavby z obdobia 60. a 70. rokov 20. storočia. Vtedy je pre zhodnotenie stavu konštrukcií zasluhujúcich pamiatkovú ochranu potrebná diagnostika so špecifickým prístupom k daným historickým objektom, ktorý vyplýva z budúceho využitia objektu. Požiadavky z hľadiska pamiatkovej ochrany spočívajú najmä v zachovaní pôvodných prvkov a v použití takých materiálov, ktoré sa čo najviac blížila originálnym technológiám s použitím pôvodných pracovných postupov tak, aby výsledok, čo najviac pripomínal originál.

Vo väčšine prípadov historické objekty podľa moderného využitia (bývanie, podnikanie). V takom prípade je nutné si pred rekonštrukciou uvedomiť o akú stavbu sa jedná, aká je jej história, a že projektované zásahy by mali rešpektovať pôvodné materiály. V priebehu doby sa taktiež menili požiadavky na kvalitu a trvanlivosť materiálov nosných konštrukcií. Pri hodnotení starších železobetónových konštrukcií je potrebné ich spoľahlivosť overiť nielen na základe vizuálnej prehliadky, ale i na základe skúšok prevedených odborníkmi v oblasti diagnostiky konštrukcií, ktorí pri hodnotení stavu postupujú podľa zásad platných noriem.

1.2. Ciele

Cieľom teoretickej časti diplomovej práce je spracovanie prieskumu a hodnotenia existujúcich železobetónových konštrukcií s dôrazom na využitie nedeštruktívnych metód. Porovnanie rozdielnych prístupov k nedeštruktívnym skúškam v normách ČSN 732011 a ČSN EN 13791 a spracovanie prehľadu diagnostických metód pre prieskum železobetónových konštrukcií a ich vzájomné porovnanie z hľadiska možnosti prevedenia a dosiahnutých výsledkov.

Cieľom praktickej časti je prvotná prehliadka objektu s dokumentáciou stávajúceho stavu a porúch. Návrh diagnostiky konštrukcie s prevedením skúšok in situ a laboratórnych skúšok na vzorkách odobraných z konštrukcie. Vyhodnotenie skúšok, statické posúdenie vybraného prvku konštrukcie a záverečné zhodnotenie objektu.

2. Hodnotenie existujúcich konštrukcií

2.1. Súčasný stav

Väčšina priemyselných stavieb a mostov postavených v čase priemyselnej revolúcie (v ČR obdobie v rozmedzí 1870-1930) sa považuje za industriálne dedičstvo. Tieto stavby (nádražné haly, železničné i cestné mosty, cukrovary atd.) môžu mať významnú architektonickú alebo historickú hodnotu. Mnohé z nich sú v súčasnosti nedostatočne využité alebo opustené, a dochádza tak k ich chátraniu alebo vandalskému poškodzovaniu. Stavby sú vystavované nepriaznivým účinkom prostredia, ktoré vedú k degradácii a postupnej strate spoľahlivosti. Nedostatočná ochrana priemyselného dedičstva môže viesť k jeho vymiznutiu a nenahraditeľnej strate kultúrnych a spoločenských hodnôt.

Hodnotenie existujúcich konštrukcií sa preto v súčasnosti stáva významnou technickou úlohou. Súčasťou projektov pre nové využitie existujúcich stavieb je overenie spoľahlivosti a prípadný návrh opatrení pre zaistenie životnosti konštrukcie a bezpečnosti užívateľov. Pri overovaní prostredníctvom postupov pre navrhovanie podľa súčasných noriem (predovšetkým Eurokódov) mnoho stavieb nespĺňa súčasnú požiadavku na spoľahlivosť. Eurokódy sú predovšetkým určené pre navrhovanie nových konštrukcií a neuvádzajú priame pokyny pre hodnotenie existujúcich konštrukcií a navrhovanie ich opráv alebo modernizácií. Preto priame použitie Eurokódu môže naznačiť potrebu nákladnej rekonštrukcie a s tým spojené vysoké náklady veľakrát vedú k neuskutočneniu projektu [22].

2.2. Všeobecné zásady hodnotenia konštrukcií

Stanovenie zásad hodnotenia existujúcich konštrukcií je nevyhnutné, pretože vychádza z podstatne odlišného poňatia ako je navrhovanie nových konštrukcií. K tomuto účelu je určená norma **ČSN ISO 13822** Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí. V tejto norme sú popísané požiadavky a postupy hodnotenia, ktoré vychádzajú zo zásad spoľahlivosti konštrukcií a z následkov ich porušení. Norma taktiež poskytuje zásady pre stanovenie zaťaženia a účinkov prostredia.

Normu je možné použiť pre hodnotenie každej existujúcej stavebnej konštrukcie, ktorá bola pôvodne navrhnutá, vypočítaná a zhotovená na základe prijatých inžinierskych zásad a taktiež pre konštrukcie prevedené na základe platných profesionálnych postupov. Zásady tejto normy je možné aplikovať i pre historické stavby a stavebné pamiatky.

K hodnoteniu stavu objektu môžu viesť nasledujúce okolnosti:

- Budúca zmena v používaní alebo predĺženie návrhovej životnosti;
- Overenie spoľahlivosti požadovanej úradmi;
- Degradácia konštrukcie vplyvom zaťaženia alebo vonkajších vplyvov (napr. korózia, únavy materiálov);
- Poškodenie konštrukcie od mimoriadnych zaťažení [9].

Pri overovaní spoľahlivosti existujúcich konštrukcií podľa tejto normy je možné použiť metódu parciálnych súčiniteľov alebo pravdepodobnostné metódy. ČSN ISO 13822 vysvetľuje, prečo súčasné normy pre navrhovanie nestačia pre hodnotenie spoľahlivosti existujúcich konštrukcií, pre navrhovanie ich opráv alebo modernizácií. Normy pre navrhovanie nových konštrukcií neuvádzajú postupy pre hodnotenie stavu existujúcich konštrukcií a odolností materiálu, nezaoberajú sa neistotami, ktoré vyplývajú z reálneho spôsobu používania stavby a z histórie pôsobiacich zaťažení. Dôležité je brať do úvahy aj zostávajúcu životnosť konštrukcie. Niektoré existujúce konštrukcie môžu byť dostatočne spoľahlivé, i keď nemusia vyhovovať súčasným (sprísneným) požiadavkám platných noriem pre navrhovanie [3].

Pri hodnotení existujúcich konštrukcií a navrhovaní konštrukčných opatrení sú podľa ČSN ISO 13822 funkčné požiadavky na bezpečnosť a použiteľnosť v zásade zhodné ako pri navrhovaní nových konštrukcií. Napriek tomu sú medzi nimi zásadné rozdiely, ktoré ovplyvňujú diferenciáciu spoľahlivosti týchto konštrukcií (viď Tab. 1). Preto sa u väčšiny existujúcich konštrukcií uplatňuje princíp minimálnych stavebných zásahov, podľa ktorého sa pri návrhu konštrukčných opatrení používajú pôvodné materiály, ktorých súčasné vlastnosti sa musia vopred posúdiť.

Tab. 1 Hľadiská pri posudzovaní funkčných požiadaviek na spoľahlivosť konštrukcií [4]

| Hľadisko | Existujúce konštrukcie | Nové konštrukcie |
|----------------------|--|---|
| Ekonomické | prírastok nákladov na zvýšenie spoľahlivosti je spravidla vysoký | prírastok nákladov vedúci k zvýšenej spoľahlivosti je spravidla menší |
| Sociálne | môže byť významné z dôvodu obmedzenia alebo vylúčenia užívania a pre zachovanie kultúrneho dedičstva | spravidla menej významné ako u existujúcich konštrukcií |
| Udržateľnosti | do značnej miery sa využívajú existujúce stavebné materiály, znižujú sa stavebné odpady | spravidla sa použijú nové materiály |

Spoločne s ISO 13822 sa pre hodnotenie existujúcich konštrukcií používa taktiež norma **ČSN 73 0038** Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí – Doplnující ustanovení. V tejto norme sú pre uľahčenie používania ČSN ISO 13822 uvedené doplňujúce pokyny k zásadám hodnotenia existujúcich betónových, oceľových, drevených a murovaných konštrukcií [10].

2.2.1. Metodika hodnotenia podľa ČSN ISO 13822

V norme ČSN ISO 13822 je uvedená metodika postupu hodnotenia existujúcich konštrukcií, ktorá pozostáva z nasledujúcich šiestich hlavných krokov:

1. Predbežné hodnotenie
 - a) Štúdium dokumentácie ďalších údajov
 - b) Predbežná prehliadka
 - c) Predbežné overenie
 - d) Rozhodnutie o okamžitých opatreniach
 - e) Odporúčenie pre podrobné hodnotenie
 - f) Podrobné hodnotenie
2. Podrobné hodnotenie
 - a) Detailné vyhľadanie a prevezenie dokumentácie
 - b) Podrobná prehliadka a skúšky materiálov
 - c) Stanovenie zaťaženia
 - d) Stanovenie vlastností konštrukcie
 - e) Overenie
3. Výsledky hodnotenia
 - a) Správa
 - b) Konceptný návrh konštrukčných opatrení
 - c) Riadenie rizík
4. Stanovenie účelu hodnotenia
5. Scenára
6. Zopakovanie postupu v prípade potreby

Na počiatku sa na základe dohody medzi objednávateľom a posudzovateľom, stanoví jednoznačný účel hodnotenia konštrukcie s ohľadom na jej budúcu funkčnú spôsobilosť, ktorá sa stanoví na základe plánu využitia a plánu bezpečnostných opatrení. Bezpečnosť a použiteľnosť konštrukcie sa zaistí určením scenára, ktorý identifikuje možné kritické situácie, ktoré súvisia so zmenou konštrukčných podmienok alebo zaťaženia konštrukcie. Z výsledkov predbežných a podrobných prehliadok sa vypracuje záverečný správa. Ak výsledky preukážu nedostatočnú bezpečnosť alebo použiteľnosť konštrukcie je nutné vytvoriť návrh konštrukčného zabezpečenia alebo znížiť veľkosti rizík (napr. obmedzením zaťaženia, zmenou spôsobu využitia konštrukcie) [9].

3. Prieskum existujúcich železobetónových konštrukcií

Prieskum a hodnotenie existujúcich objektov, ktoré zasluhujú pamiatkovú ochranu alebo objektov považovaných za umelecké diela vyžaduje špecifický prístup. Prevažne sa jedná o objekty z obdobia začiatkov používania betónu v stavitelstve, ale v poslednom období je snahou chrániť i objekty výrazne mladšie, z obdobia 60. až 70. rokov 20. storočia. Veľká časť najmä priemyselných objektov bola postavená účelovo, úsporne na úkor životnosti. Za uplynulé roky sa taktiež výrazne zmenili požiadavky na kvalitu a trvanlivosť materiálov nosných konštrukcií. Preto pri hodnotení starších železobetónových konštrukcií je dôležité overiť ich spoľahlivosť na základe dôkladnej prehliadky i na základe správne zvolených diagnostických skúšok.

3.1. Zásady

Poskytnuté informácie o existujúcej konštrukcii spravidla nie sú pre účely overovania spoľahlivosti dostatočné a je potreba získať doplňujúce informácie o stavebne technickom stave stavby a jej nosnej konštrukcie, aktuálnych podmienkach konštrukcie a jej usporiadaní, rozsahu pamiatkovo hodnotných častiach stavby a vývoji stavby z hľadiska úprav konštrukčného usporiadania a využitia. Projekt obnovy stavby je závislý na výsledkoch prieskumov, ktoré sa delia do nasledujúcich skupín:

- **Diagnostické prieskumy** – analyzujú stavebne technický stav, mieru poškodenia, možné ohrozenia stavby;
- **Stavebne historické prieskumy** – analyzujú štruktúru stavby a jej vývoj;

- **Reštaurátorské prieskumy** – analyzujú umelecké diela a také vrstvy stavby, ktorých ošetrovanie má byť prevedené reštaurátorskými technikami [22].

3.1.1. Stavebne technický prieskum

Stavebne technický prieskum je súbor prieskumných prác pre zhodnotenie aktuálneho stavu objektu, ktorý sa plánuje zachovať. Prieskumné práce by mali byť zamerané na kritické miesta, v ktorých vznikajú poruchy a za pomoci diagnostiky a monitoringu zistiť možné príčiny ich vzniku. Účelom je poskytnúť projektantovi maximálne množstvo informácií o fyzických kvalitách jednotlivých konštrukčných prvkov i celých objektov. Rozsah prieskumu je ovplyvňovaný veľkosťou objektu, cenou prieskumných prác, prístupnosťou ku konštrukcii a možnosťami skúšobných metód.

Stavebne technický prieskum **je požadovaný** v nasledujúcich prípadoch:

- Overenie stavu a vlastností materiálov pre statický výpočet;
- Prestavba, rekonštrukcia objektu;
- Pred zahájením výstavby nových objektov v blízkosti posudzovanej stavby;
- Pri zmene vlastníka objektu.

Druhy stavebne technického prieskumu (ďalej STP):

- **Predbežný (základný) STP** – zhromažďuje najvšeobecnejšie informácie o objekte a slúži k orientačnému hodnoteniu, prieskumu výkresovej dokumentácie alebo prieskumu archívnych materiálov so záznamom o zmenách na objekte (napr. pre vypracovanie štúdie.);
- **Podrobný STP (komplexný)** – dopĺňa predbežný prieskum a vďaka diagnostickým metódam získava detailnejšie hodnotenie stavu objektu so spresnením porúch (napr. pre vypracovanie statického výpočtu);
- **Doplňkový STP** – prehodnocuje sporné závery predchádzajúcich prieskumov tesne pred zahájením realizácie regenerácie objektu [2].

Pri stavebne technickom prieskume sa vo fáze predbežného hodnotenia odporúča overiť homogenitu konštrukčného materiálu v sledovanej konštrukcii pomocou nedeštruktívnej alebo semideštruktívnej diagnostiky. Podrobné hodnotenie vychádza zo stanovených materiálových vlastností na základe deštruktívnych skúšok alebo nedeštruktívnych, ktoré sú skalibrované prostredníctvom deštruktívnych skúšok.

3.2. Materiál železobetónových konštrukcií

Pre stanovenie odolnosti konštrukcie alebo materiálu je treba určiť návrhové hodnoty materiálových vlastností. Pre určenie vlastností betónu, betonárskej a predpínacej výstuže sa postupuje podľa ČSN 73 0038.

3.2.1. Betón

Pevnostnú triedu betónu je možné určiť na základe dokumentácie skutočného zhotovenia alebo v prípade potreby vyhodnotením skúšok betónu. Charakteristické hodnoty vlastností betónu sú uvedené v platných normách pre navrhovanie a stupeň vplyvu prostredia sa uvažuje podľa normy ČSN EN 206, v ktorej sú uvedené aj pevnostné triedy betónu. Pre prevod starších druhov, značiek a tried betónu platí nasledujúca tabuľka [10].

Tab. 2 Druhy, značky, triedy betónov a prevod značenia [10]

| Betón | | | | | | |
|--------------------------------|----------------|--------------------------------------|------------------|----------------------|--|--------------------------|
| ČSN 1090:1931 ČSN 1230:1937 | | ČSN 73 2001:1956 ČSN 73 6206:1971 | ČSN 73 1201:1967 | ČSN 73 1201:1986 | ČSN EN 206 ČSN EN 1992-1-1 | |
| druh | pevnosť [MPa]* | značka | trieda | trieda | pevnostná trieda | |
| a | 6 | 60 | 1 | | (C 3/3,5) | nekonštrukčný betón |
| b | 9 | 80 | | B 5 | (C 4/5) | |
| c | 12 | 105 | 0 | B 7,5 | (C 6/7,5) | |
| d | 15 | 135 | I | B 10 | C 8/10 | |
| e | 20 | 170 | | B 12,5 | (C 9/12,5) (C 10/13,5) | |
| f | 30 | 250 | III | B 15 B 20 B 25 | C 12/15 C 16/20 C 20/25 | konštrukčný betón |
| g | 40 | 330 | IV | B 30 B 35 | (C 23/28) C 25/30 (C 28/35) | |
| | | | | | C 30/37 | |
| | | 500 | V | B 40 | (C 30/40) | |
| | | | VI | B 45 B 50 B 55 | C 35/45 C 40/50 C 45/55 | |
| | | | 600 | | | |
| | | | | B 60 | C 50/60 C 55/67 C 60/75 C 70/85 C 80/95 C 90/105 C 100/115 | vysokopevnostný betón |

Pevnostné triedy uvedené v zátvorkách niesú v príslušnej norme zavedené

* priemerná pevnosť v tlaku skúšobných kociek s hranou 200 mm zo zvlhlej zmesi

Pevnostné triedy uvedené v zátvorkách nie sú v príslušnej norme zavedené

* priemerná pevnosť v tlaku skúšobných kociek s hranou 200 mm zo zvlhlej zmesi



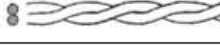




3.2.2. Betonárska výstuž

Druh betonárskej výstuže je možné stanoviť na základe dokumentácie skutočného zhotovenia alebo na základe výsledkov prieskumov (napr. podľa úpravy povrchu výstužných ocelí). Vlastnosti betonárskej výstuže železobetónových konštrukcií navrhnutých a zhotovených podľa starých noriem sú uvedené v ČSN 73 0038 podľa doby návrhu existujúcej konštrukcie (obdobie 1920 až 1965, 1960 až 1970 a od roku 1970).

Je možné, že v konštrukcii sa nachádzajú rozdielne druhy a profily výstuže aké boli pôvodne navrhnuté. Ak sa v niektorých prípadoch pri hodnotení existujúcich konštrukcií nevie o aký druh betonárskej výstuže sa jedná, musia sa na vhodnom mieste odobrať vzorky výstuže ku skúškam a stanoviť charakteristickú hodnotu pevnosti oceli alebo medze klzu. Odber vzoriek musí byť prevedený tak, aby neohrozil nosnú funkciu konštrukcie.

Cieľom skúšania betonárskej oceli je stanovenie druhu, priemeru, množstva, polohy výstuže v konštrukcii vrátane vzájomných vzdialeností a krytia. Stanovuje sa taktiež rozsah korózie. Zistenie polohy výstuže je dôležité pre statický výpočet a pre odber jadrových vývrtov [10].

Tab. 3 Tvary betonárskych výstuží [10]

| Predpis | Druh | Označenie | |
|---------------------------|----------------|-----------------------------------|---|
| ČSN 1016:1926 | | C 34 |  |
| ČSN 1090:1931 | | Cc | |
| ČSN 1090:1931 | | C 38 | |
| ČSN 1090:1931 | | Akostná | |
| ČSN 1091:1935 | | Cb | |
| ČSN 1230:1337 | | C 37 | |
| ČSN 1230:1337 | | C 52 | |
| - | | Betón špeciál | |
| ČSN 41 0000 | 10 000 | | |
| ČSN 42 5510 | | | |
| ČSN 41 0002 | 10 002 | A |  |
| ČSN 41 0210 | 10 210 | A-0 | |
| ČSN 41 0216 | 10 216 | E | |
| ČSN 42 5512 | | | |
| ČSN 41 0373 | 10 372 | B | |
| | | A-0 | |
| ČSN 41 0373 ²⁾ | 10 373 | B _s | |
| ČSN 41 0452 | 10 452 | C | |
| ČSN 42 5513 | 10 453 | C _s | |
| | 10 472 (ISTEG) | I |  |
| ČSN 41 0492 | 10 492 | T, Tor 30 |  |
| ČSN 42 6560 ²⁾ | (TOROS) | | |
| ČSN 42 5537 ²⁾ | 10 512 (ROXOR) | R | |
| | 10 513 (ROXOR) | R _s | |
| | 10 512 (LAROS) | L | |
| | 10 513 (LAROS) | L _s | |
| ČSN 41 0300 | 10 300 | A-II ⁴⁾ |  |
| ČSN 42 5538 | | R 30 | |
| ČSN 41 0401 | 10 400 | R _s 40 | |
| | 10 400 A | A _s -III ⁴⁾ | |
| | 10 401 | R 40 | |
| ČSN 42 5539 | 10 400 B | A-III ⁴⁾ | |
| ČSN 41 0402 | 10 402 | Tor 40 | |
| | | RK 40 | |
| ČSN 41 1373 | 11 373 | EZ ³⁾ | |
| ČSN 42 5510 | | | |
| ČSN 41 0245 | 10 245 | K |  |
| ČSN 42 5529 | | | |
| ČSN 41 0335 | 10 335 | J | |
| ČSN 42 5533 | | | |
| ČSN 41 0338 | 10 338 | T | |
| ČSN 42 5534 | | A-II ³⁾ | |
| ČSN 41 0302 | 10 302 | B II | |
| ČSN 42 6560 | | Tor 30 | |
| ČSN 41 0425 | 10 425 | V | |
| ČSN 42 5535 | | A-III ³⁾ | |
| ČSN 42 5535 ¹⁾ | 10 426 | W |  |
| | | A-III ³⁾ | |
| ČSN 41 0505 | 10 505 | R | |
| ČSN 42 5538 | | | |

1) ČSN 73 2001: 1972

2) ČSN 1510: 1948

3) Metodické pokyny pre používanie výstuží oceľ v betónových konštrukciách navrhnutých podľa ČSN 73 1201:1967

4) Vestník Ministerstva výstavby, časť 23/1962

3.2.3. Predpínacia výstuž

Charakteristiky predpínacej výstuže sa stanovujú podľa dokumentácie zhotovenia (alebo z protokolu o napínaní), podľa predpisov platných v dobe výstavby alebo na základe skúšok vzoriek výstuže. V prípade dovážanej výstuže sa vychádza zo stavebne technických osvedčení alebo z údajov od výrobcu platných v dobe výstavby konštrukcie. Pre hodnotenie existujúcej konštrukcie je potrebné stanoviť veľkosť sily v predpínacej výstuži a overiť zainjektovanie káblových kanálov [10].

3.3. Vlastnosti železobetónových konštrukcií

Pri diagnostike a hodnotení železobetónových konštrukcií rozlišujeme vlastnosti betónu, ocelevej výstuže, vlastnosti konštrukcie ako celku a poruchy.

- Vlastnosti betónu konštrukcie:
 - Rovnorodosť betónu;
 - Pevnosť betónu;
 - Modul pružnosti betónu;
 - Objemová hmotnosť;
 - Hutnosť betónu;
 - Vlhkosť betónu;
- Vlastnosti ocelevej výstuže:
 - Množstvo a uloženie výstuže, krytie výstuže;
 - Korózia výstuže;
- Vlastnosti konštrukcie:
 - Únosnosť a ohybová tuhosť pri statickom zaťažení;
 - Vlastnosti ako napr. mrazuvzdornosť a vodotesnosť;
- Poruchy:
 - Prítomnosť, rozsah.

Skúšobné metódy sa volia s ohľadom na stav konštrukcie, účel skúšania, použité materiály a prístup ku konštrukcii. Je nutné zohľadniť aj hrúbku konštrukcie a požadovanú minimálnu hrúbku pre zvolenú skúšobnú metódu. U vyšetrovanej konštrukcie alebo jej časti sa určujú oblasti, v ktorých je nutné zistiť sledované vlastnosti. Pre každú oblasť sa stanoví potrebný počet skúšobných miest, ktorý závisí od veľkosti konštrukcie. V

Tab. 4 sú uvedené hodnoty pre stanovenie najmenšieho počtu skúšobných miest na základe objemu betónu konštrukcie a podľa veľkosti zámesi [11].

Tab. 4 Počet skúšobných miest [11]

| Objem betónu konštrukcie v m^3 | Počet skúšobných miest n pri predpokladanej veľkosti zámesi čerstvého betónu v m^3 | | | | | |
|-------------------------------------|---|------|------|------|------|------|
| | 0,06 | 0,30 | 0,60 | 1,00 | 3,00 | 6,00 |
| 1 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 2 | 24 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 5 | 39 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 10 | 52 | 24 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 20 | 64 | 35 | 24 | 16 | 16 | 16 |
| 50 | 72 | 52 | 39 | 31 | 16 | 16 |
| 100 | 72 | 64 | 52 | 44 | 24 | 16 |
| 200 | 72 | 70 | 64 | 53 | 35 | 24 |
| 500 | 72 | 72 | 72 | 68 | 53 | 39 |
| 700 | 72 | 72 | 72 | 71 | 58 | 45 |
| 1000 | 72 | 72 | 72 | 72 | 64 | 52 |
| 2000 | 72 | 72 | 72 | 72 | 70 | 64 |
| ≥ 4000 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 70 |

3.3.1. Rovnomernosť betónu

Pri hodnotení existujúcej konštrukcie zohráva významnú rolu stanovenie rovnomernosti betónu. Je to charakteristika betónu, pri ktorej sú rozdiely sledovanej vlastnosti tak malé, že sa dajú vyjadriť jednou, zvyčajne priemernou hodnotou. Vyhodnocuje sa štatisticky podľa štatistických ukazovateľov, ktoré sa vypočítajú na základe stanovených hodnôt meraných vlastností betónu (určených deštruktívne alebo nedeštruktívne). Sú to predovšetkým nasledujúce vlastnosti:

- pevnosť betónu v tlaku a ťahu;
- rýchlosť šírenia impulzov pozdĺžnych ultrazvukových vln;
- objemová hmotnosť.

Ak sledovanú vlastnosť narušujú viditeľné poruchy na povrchu, nie je možné vyhodnotiť rovnomernosť betónu (pokiaľ sa nejedná o stanovenie miery nerovnomernosti betónu). V prípade, že sa v priebehu skúšok zistí vrstevnatosť betónu, možno rovnomernosť hodnotiť iba, ak sa dá určiť hrúbka každej vrstvy.

Betón konštrukcie je možné považovať sa rovnomerný, ak variačný súčiniteľ V_x a rozdiel Δ znakov stanovených na skúšobných miestach ležiacich vedľa seba a nad sebou nie je väčší ako hodnoty uvedené v Tab. 5. V opačnom prípade je betón nerovnomerný [11].

Tab. 5 Hodnoty max. variačného súčiniteľa V_x a rozdielu Δ na susedných miestach [11]

| Skúšaná vlastnosť betónu | Trieda betónu | Štatistické hodnotenie | |
|--|----------------------|------------------------|---------------|
| | | V_x % | Δ % |
| Pevnosť v tlaku | C 12/15 | 16 | 30 |
| | C 16/20 | 16 | 30 |
| | C 25/30 | 14 | 30 |
| | C 30/37 a lepší | 12 | 30 |
| Pevnosť v ťahu | C 12/15 | 22 | 40 |
| | C 16/20 | 20 | 40 |
| | C 25/30 | 18 | 30 |
| | C 30/37 a lepší | 16 | 30 |
| Rýchlosť šírenia impulzov pozdĺžnych ultrazvukových vĺn | C 12/15 | 4,0 | 7,5 |
| | C 16/20 | 4,0 | 7,5 |
| | C 25/30 | 3,5 | 7,5 |
| | C 30/37 a lepší | 3,0 | 7,5 |
| Objemová hmotnosť | všetky triedy betónu | 2,2 | 4,0 |

Variačný súčiniteľ V_x sa stanoví v percentách zo vzťahu:

$$V_x = \frac{s_x}{m_x} \cdot 100$$

kde s_x je výberová smerodatná odchýlka súboru hodnôt;

m_x je aritmetický priemer hodnôt materiállovej vlastnosti (napr. pevnosti v tlaku) [1].

3.3.2. Modul pružnosti betónu

Modul pružnosti je jednou zo základných charakteristík betónu. Výrazne ovplyvňuje nielen deformačné vlastnosti betónu ale aj deformácie betónových konštrukcií (priehyby, posuny, skrátene a pod.). Čím je modul pružnosti betónu väčší, tým menšie sú jeho deformácie a naopak. Definuje sa ako pomer napätia a ním vyvolaného pomerného pretvorenia, čo možno vyjadriť vzťahom:

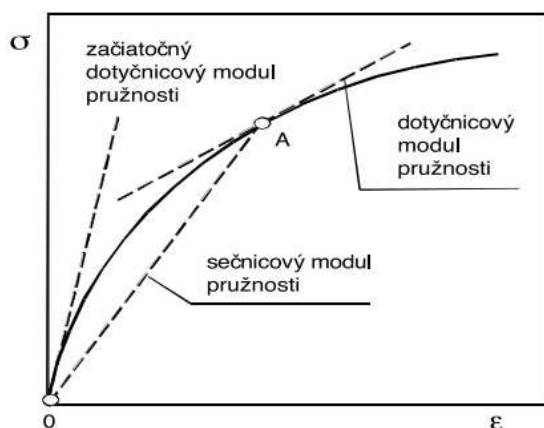
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

kde E je modul pružnosti v MPa;

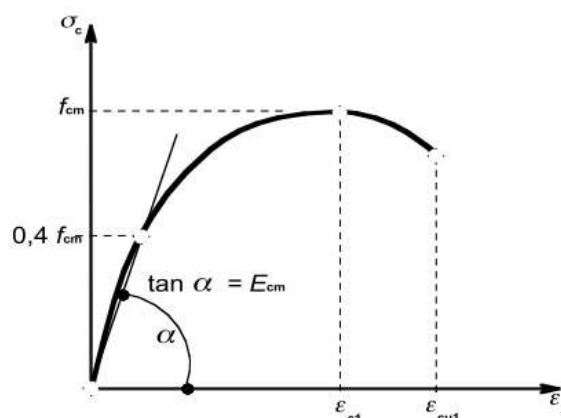
σ napätie v MPa;

ε pomerné pretvorenie.

Podľa spôsobu odčítania z pracovného grafu sa delí na dotyčnicový a sečnicový [23].



Obr. 1 Známenie rôznych modulov pružnosti [23]



Obr. 2 Schematické znázornenie vzťahu napätie – pomerné pretvorenie z ČSN EN 1992-1-1 [23]

Rozlišujeme dva typy modulov pružnosti. Statický modul pružnosti sa určuje zaťažovaním skúšobných telies odobraných z konštrukcie a to z reálneho napätia a deformácie vzorky. Dynamický modul pružnosti možno stanoviť viacerými metódami, najčastejšie pomocou rezonančnej na odobraných vzorkách a ultrazvukovej metódy zhotovenej na konštrukcii alebo odobraných vzorkách [1].

Pružnostné charakteristiky betónu konštrukcie, alebo jej časti vyšetrujeme v miestach kde nie sú viditeľné závady a poruchy, ktoré by prípadne ovplyvňovali únosnosť konštrukcie.

Použitím ultrazvukovej impulzovej metódy pre stanovenie modulu pružnosti sa skúšobné miesta rozmiestňujú rovnomerne s počtom skúšobných miest uvedených v Tab.4, alebo metódou náhodného výberu podľa ČSN 01 0220. Modul pružnosti betónu E_c v MPa sa stanoví zo zistených dynamických modulov pružnosti na skúšobných miestach alebo na odobraných vzorkách z nasledujúceho vzťahu:

$$E_c = \frac{\sum E_{cu,i}}{n} \cdot \kappa_u$$

kde E_c je modul pružnosti, ktorý sa použije pre výpočet pretvorenia konštrukcie;
 $E_{cu,i}$ dynamický modul pružnosti stanovený podľa ČSN 73 1371;
 n počet skúšobných miest;
 κ_u súčiniteľ pre prepočet dynamického modulu pružnosti na statický modul pružnosti (viď Tab. 6) [12].

V prípade zisťovania modulu pružnosti na skúšobných telesách vytvorených z odobratých vzoriek rezonančnou metódou, počet skúšobných telies je závislý na veľkosti konštrukcie.

Platí nasledovné:

- 3 vzorky na objem betónu do 10 m³;
- 6 vzoriek na objem betónu do 50 m³;
- 9 vzoriek na objem betónu nad 50 m³;

Pri menšom množstve vzoriek je výsledok modulu pružnosti informatívny.

Zo zistených dynamických modulov pružnosti použitím rezonančnej metódy sa modul pružnosti betónu E_c konštrukcie v MPa stanoví zo vzťahu:

$$E_c = \frac{\sum E_{cr,i}}{n} \cdot \kappa_r$$

kde E_c je modul pružnosti, ktorý sa použije pre výpočet pretvorenia konštrukcie;
 $E_{cr,i}$ dynamický modul pružnosti stanovený podľa ČSN 73 1372;
 n počet skúšobných miest;
 κ_r súčiniteľ pre prepočet dynamického modulu pružnosti na statický modul pružnosti (viď Tab. 6) [12].

Tab. 6 Hodnoty súčiniteľa pre prepočet dynamického modulu pružnosti na statický modul pružnosti [12]

| Trieda betónu | Zmenšovaci koeficient κ_u | Zmenšovaci koeficient κ_r |
|---------------|----------------------------------|----------------------------------|
| C 8/10 | 0,62 | 0,81 |
| C 12/15 | 0,71 | 0,86 |
| C 16/20 | 0,76 | 0,88 |
| C 25/30 | 0,81 | 0,90 |
| C 30/37 | 0,83 | 0,91 |
| C 35/45 | 0,86 | 0,93 |
| C 40/50 | 0,88 | 0,94 |
| C 45/55 | 0,90 | 0,95 |

Hodnoty súčiniteľov v Tab. 6 boli prevzaté zo staršieho vydania normy a boli stanovené pred 30 rokmi pre tradičné betóny vyrábané odlišným spôsobom ako v súčasnosti. Skutočné hodnoty súčiniteľov pre moderné betóny vychádzajú nižšie to znamená, že statické moduly budú vyššie ako zodpovedá skutočnosti [16].

Ak nie je možné stanoviť dynamický modul pružnosti, je možné modul pružnosti priradiť k pevnosti betónu v tlaku, zistenej pomocou skúšobného lisu, v ktorom sa zaťažujú skúšobné telesá odobraté z konštrukcie. Pre určenie modulu pružnosti E_c betónu v MPa celej konštrukcie alebo jej časti sa používa nasledujúci vzťah:

$$E_c = \frac{\sum E_{c,i}}{n}$$

kde $E_{c,i}$ je modul pružnosti stanovený na jednotlivých miestach i ;
 n počet skúšobných miest [12].

3.3.3. Pevnosť betónu v tlaku

Pevnosť betónu v tlaku je jednou z najvýznamnejších vlastností posudzovaných u tohto materiálu. Vyjadruje schopnosť betónu odolávať vonkajšiemu zaťaženiu. Stanovuje sa na normovaných telesách v tvare kocky alebo valca, ktoré môžu byť vyrobené v laboratóriu alebo sa získajú priamo na stavbe. Skúšobné telesá sa zaťažujú v lise až do porušenia. Pevnosť betónu je potom veľkosť napätia dosiahnutého v mieste porušenia pri zániku celistvosti betónu. Skúša sa väčší súbor telies, ktorý sa následne štatisticky vyhodnocuje. Charakteristická pevnosť betónu v tlaku je základným vstupom do statického výpočtu. Pre jej určenie sa postupuje podľa zásad uvedených v normách ČSN ISO 13822 a ČSN EN 13791.

Vyhodnotenie pevnosti betónu v tlaku v konštrukcii podľa ČSN ISO 13822

V tejto norme je uvedený všeobecný postup stanovenia charakteristickej pevnosti pre všetky druhy materiálu. Charakteristická pevnosť betónu v konštrukcii sa stanovuje z jadrových vývrtov. Norma odporúča zhotoviť pre „známe“ betónové konštrukcie najmenej 3 až 6 skúšok. Z výsledkov n skúšok ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) sa stanoví priemer m_x , smerodatná odchýlka s_x a variačný súčiniteľ V_x podľa nasledujúcich vzťahov:

$$m_x = \frac{\sum x_i}{n}; \quad s_x^2 = \frac{\sum (x_i - m_x)^2}{n - 1}; \quad V_x = \frac{s_x}{m_x}$$

Za predpokladu normálneho rozdelenia sa charakteristická hodnota X_k stanoví nasledovne:

$$X_k = m_x(1 - k_n V_x)$$

kde k_n je súčiniteľ pre stanovenie 5% kvantilu, uvedený v Tab. 7.

Tab. 7 Súčiniteľ k_n pre stanovenie 5% kvantilu (charakteristickej hodnoty) [9]

| počet n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 20 | 30 | ∞ |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| V_x známy | 2,31 | 2,01 | 1,89 | 1,83 | 1,8 | 1,77 | 1,74 | 1,72 | 1,68 | 1,67 | 1,64 |
| V_x neznámy | - | - | 3,37 | 2,63 | 2,33 | 2,18 | 2 | 1,92 | 1,76 | 1,73 | 1,64 |

Variačný súčiniteľ V_x je možné považovať za známy, ak to ukazujú dlhodobé skúsenosti získané za rovnakých podmienok. To dosiahneme kontrolou kvality výroby alebo rozsiahlym prieskumom konštrukcie. Zvyčajne nie je rozsah prieskumu dostatočný a je nutné variačný koeficient V_x považovať za neznámy a vypočítať podľa vzťahu uvedeného vyššie, čo znamená použitie vyšších hodnôt súčiniteľa k_n . Napriek tomu, že Tab. 7 naznačuje v tomto prípade možnosť použitia len jednej skúšky, odporúča sa zriadiť 3 až 6 skúšok. V prípade diagnostiky neznámej konštrukcie je vhodné použiť výrazne vyšší počet skúšok ako 6 [9].

Vyhodnotenie pevnosti betónu v tlaku v konštrukcii podľa ČSN EN 13791

Táto norma požaduje k stanoveniu charakteristickej pevnosti betónu v konštrukcii s ohľadom na zabezpečenie potrebnej spoľahlivosti zhotovenie čo najväčšieho množstva vývrtov (minimálne 3 z jednotlivého prvku). Pre posúdenie zhody uvádza nasledovné kritéria:

Kritérium A – pre najmenej 15 vývrtov

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - 1,48s$$

$$f_{ck,is} = f_{is \text{ najmenší}} + 4$$

Z výsledných hodnôt rozhoduje nižšia hodnota. Musí sa overiť, či sa jedná o normálne rozdelenie. Ak sa nepreukáže normálne rozdelenie, zhotovuje sa nové hodnotenie.

Kritérium B – pre 3 až 14 vývrtov

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k$$

$$f_{ck,is} = f_{is \text{ najmenší}} + 4$$

Platí menší z oboch výsledných hodnôt. Pokiaľ je výsledok značne na strane bezpečnosti,

odporúča sa odobrať viac vývrtov.

V kritériách:

| | | |
|-------------------|----|--|
| $f_{ck, is}$ | je | charakteristická pevnosť betónu v tlaku v konštrukcii; |
| $f_{m(n), is}$ | | priemerná pevnosť betónu v tlaku stanovená na n počte vývrtov; |
| f_{is} najmenší | | najmenšia pevnosť získaná na vývrtoch; |
| s | | smerodatná odchýlka pevnosti vývrtov (pokiaľ je menšia ako 2,0 MPa, dosadí sa hodnota 2,0 MPa); |
| k | | súčiniteľ závislý na počte vývrtov n : $k=7$ pre 3-6 vývrtov $k=6$ pre 7-9 vývrtov $k=5$ pre 10-14 vývrtov |

Norma požaduje pre splnenie požiadaviek na projektovanú pevnosť betónu dosiahnutie 85% charakteristickej pevnosti na normových telesách. Hodnoty charakteristickej pevnosti in situ uvádza Tab. 8 [13].

Tab. 8 Minimálna charakteristická pevnosť betónu v tlaku podľa ČSN EN 13791 [13]

| Pevnostná trieda betónu podľa ČSN EN 206-1 | Pomer charakteristickej pevnosti betónu v tlaku v konštrukcii k charakteristickej pevnosti betónu v tlaku normových telies | Minimálna charakteristická pevnosť betónu v tlaku v konštrukcii [N/mm ²] | |
|--|---|--|--------------------|
| | | $f_{ck, is, cyl}$ | $f_{ck, is, cube}$ |
| C 8/10 | 0,85 | 7 | 9 |
| C 12/15 | 0,85 | 10 | 13 |
| C 16/20 | 0,85 | 14 | 17 |
| C 20/25 | 0,85 | 17 | 21 |
| C 25/30 | 0,85 | 21 | 26 |
| C 30/37 | 0,85 | 26 | 31 |
| C 35/45 | 0,85 | 30 | 38 |
| C 40/50 | 0,85 | 34 | 43 |
| C 45/55 | 0,85 | 38 | 47 |
| C 50/60 | 0,85 | 43 | 51 |

3.4. Diagnostika stavebných konštrukcií

Diagnostika stavebných konštrukcií je súbor činností vykonávaných pre účinnú a spoľahlivú kontrolu tvaru, kvality a rozmiestnenia materiálu v novostavbách i starších konštrukciách.

Potreba diagnostiky vychádza z niekoľkých dôvodov:

- **Nové konštrukcie:**
 - pochybnosti o kvalite použitého betónu, či krytia výstuže.
- **Staršie konštrukcie:**
 - staticky závažné poruchy (napr. trhliny);
 - pripravovaná rekonštrukcia, prestavba či nadstavba;
 - zistenie aktuálneho stavu konštrukcie (napr. pred prevedením výstavby v blízkosti posudzovanej stavby);
 - predpísaná diagnostika v projektovej dokumentácii po určitej dobe od výstavby.

Všeobecný postup pre zistenie vlastností železobetónovej konštrukcie je nutné pre každý konkrétny prípad modifikovať, pretože na konštrukcie pôsobia rozdielne vonkajšie vplyvy (klimatické podmienky, zaťaženie, agresívne látky). To znamená, že zakaždým je kladený dôraz iba na určité vlastnosti konštrukcie [1].

Rozsah diagnostiky je určený statikom alebo objednávatelom. Jej návrh závisí od typu konštrukcie, poškodenia a spôsobu užívania. K optimálnemu zhodnoteniu konštrukcie vedie zvolenie vhodných diagnostických metód – nedeštruktívnych a deštruktívnych [20].

3.4.1. Nedeštruktívne metódy

Pri diagnostikovaní existujúcich konštrukcií sú na skúšobné metódy kladené tieto požiadavky:

- majú byť presné;
- rýchle;
- lacné;
- minimálne poškodzujúce nosnú konštrukciu.

Týmto nárokom najlepšie vyhovujú moderné prístroje nedeštruktívnych metód. Ich aplikácia umožňuje systematické plošné vyšetrovanie vlastností stavebných materiálov. Ich hlavnou prednosťou je rýchlosť merania a opakovateľnosť meraní na rovnakých

vzorkách. Na druhej strane nasadenie nedeštruktívnych metód vyžaduje odborníka, aby nedošlo k nesprávnej interpretácii výsledkov [21].

Nedeštruktívne skúšobné metódy povrch skúšanej konštrukcie nepoškodia (výnimkou sú tvrdomerne metódy, kedy sa skúšobné miesto upraví zbrúsením alebo vrypom).

Metódy založené na fyzikálnom princípe skúšania:

- Tvrdomerne metódy – odrazové, vrypové, vtiskové;
- Elektrodynamické metódy – ultrazvuková, rezonančná, metóda fázových rýchlostí a ďalšie;
- Elektromagnetické metódy – sondy, mikrovlnné;
- Elektrické metódy – odporové, kapacitné, polovodičové;
- Radiačné metódy – rádiografické, rádiometrické metódy a meranie radónu .

Do druhej skupiny metód, v ktorej je možné zisťovať určité merané veličiny rôznymi fyzikálnymi princípmi patrí napríklad tenzometrická metóda [1].

3.4.2. Semideštruktívne metódy

Tieto metódy vyvolávajú pri pôsobení na konštrukciu iba mierne, lokálne poškodenie (v mieste skúšky), ktoré je ľahko opraviťelné, neznižuje funkčnosť ani estetický pohľad na konštrukciu. Poškodené skúšobné miesta musia byť ihneď po prevedení skúšky opravené a uvedené do pôvodného stavu. Pomocou semideštruktívnych metód je možné dosiahnuť objektívnejšie výsledky ako pri použití metód čisto nedeštruktívnych.

Medzi semideštruktívne metódy patrí:

- Jadrové vývrty:
 - určené k stanoveniu pevnosti betónu v tlaku;
 - určené k prieskumu skladby konštrukcie a zisteniu hrúbok jednotlivých vrstiev;
 - určené k stanoveniu stupňa a hĺbky degradácie.
- Odtrhové skúšky:
 - určené k stanoveniu príľnavosti povrchovej vrstvy prvků.
- Sekané sondy:
 - určené pre zisťovanie výskytu výstuže [1].

3.4.3. Deštruktívne metódy

Princípom deštruktívnej defektoskopie je prevedenie skúšky až do úplného zničenia konštrukcie alebo jej časti. Pri skúšaní dochádza k prekročeniu medzného stavu únosnosti. To znamená, že prvok je po prevedení skúšky natoľko poškodený, že ho už naďalej nie je možné využívať. Metóda sa uplatňuje najmä na modeloch. Všeobecne sa delia na pevnostné, trvanlivostné a pružnostné. [1].

Pri využívaní deštruktívnych metód zisťujeme na vybraných materiáloch alebo konštrukciách skutočne požadované fyzikálne veličiny. Takéto metódy sa nazývajú **priame metódy**.

Pri skúšaní betónu nedeštruktívnymi metódami meriame spravidla iné fyzikálne veličiny a sústreďujeme sa na hľadanie výstižných korelačných vzťahov medzi meranou a zisťovanou veličinou (viď nasledujúca kapitola o kalibračných vzťahoch.). Jedná sa o **nepriame metódy**.

Porovnanie nedeštruktívnych (nepriamych) a deštruktívnych (priamych) metód:

Tab. 9 Výhody a nevýhody nedeštruktívnych a deštruktívnych metód

| Nedeštruktívne metódy (nepriame) | | Deštruktívne metódy (priame) | |
|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|--|
| + | nepoškodzujú konštrukciu | - | poškodzujú konštrukciu |
| + | veľký počet skúšobných miest | - | menší počet skúšobných miest |
| + | finančne výhodnejšie | - | relatívne drahšie |
| - | menej presné | + | väčšia presnosť |
| - | možnosť vzniku hrubých chýb | + | možnosť nahliadnutia do vnútra konštrukcie |

3.4.4. Kalibračné vzťahy

Kalibračný vzťah sa stanoví z dvojice vstupných údajov pozostávajúcich zo súradníc ukazovateľa nedeštruktívneho merania a ukazovateľa vlastností získaných na skúšobnom telese. Jeho rozsah musí byť taký, aby umožňoval stanovenie hodnôt sledovanej vlastnosti (pevnosť v tlaku) všetkých veľkostí, ktoré pri skúšaní môžu prichádzať do úvahy [7].

Rozlišujú sa kalibračné vzťahy:

Všeobecný kalibračný vzťah - pokiaľ nie je stanovený výrobcom prístroja, odvodí sa zo skúšok zhotovených najmenej na 300 skúšobných vzorkách rôzneho betónu a s použitím rôznych technológií.

Smerný kalibračný vzťah je vypracovaný pre také betóny, ktoré sa obvykle používajú pre sledovanú vlastnosť a zvolenú technológiu. Pokiaľ nie je stanovený výrobcom, pre jeho odvodenie je potrebné vyskúšať najmenej 100 skúšobných telies vyrobených zo zvolených druhov betónu rôzneho zloženia a s použitím zvolenej technológie.

Určujúci kalibračný vzťah stanovuje spresnené hodnoty vlastností daného betónu, napr. pevnosti v tlaku. Rozlišujeme úzky, pre rozsah pevností v rámci jednej triedy betónu, alebo široký, pre rozsah pevností dvoch alebo viac tried betónov zhotovených rovnakou technológiou výroby z rovnakých zložiek.

Spresnená hodnota pevnosti betónu

Pre určenie spresnenej hodnoty pevnosti betónu v tlaku existujú dva spôsoby:

Odvodenie pevnosti z určujúceho kalibračného vzťahu;

Spresnenie všeobecného alebo smerného kalibračného vzťahu môžeme uskutočniť vynásobením hodnoty vlastnosti určenej z kalibračného vzťahu súčiniteľom α , ktorý získame zo vzťahu:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n f_{bi}}{\sum_{i=1}^n f_{bei}}$$

kde

α je súčiniteľ spresnenia;

n počet meraní;

f_{bi} pevnosť v tlaku stanovená z i -tého merania normalizovanou deštruktívnou skúškou (kocková pevnosť);

f_{bei} pevnosť v tlaku s nezaručenou presnosťou, stanovená na tej istej vzorke nedeštruktívne.

Pomocou tohto súčiniteľa sa spresní hodnota pevnosti betónu v tlaku f_{be} s nezaručenou presnosťou na hodnotu f_b podľa vzťahu:

$$f_b = \alpha \cdot f_{be}.$$

[7]

Pre spresnenie všeobecného a smerného kalibračného vzťahu súčiniteľom α je potrebný nasledujúci počet vzoriek:

- Najmenej 9 kalibračných vzoriek, ktoré sú vyrobené z rovnakých zložiek betónu a sú zhutnené a ošetrené
- Vzorky odobrané z konštrukcie alebo dielov v počte:
 - Najmenej 3 vzorky na objem betónu do 10 m^3 ;
 - Najmenej 6 vzoriek na objem betónu do 50 m^3 ;
 - Najmenej 9 vzoriek na objem betónu nad 50 m^3 ;
 - Najmenej 3 vzorky, ak konštrukcia alebo diely boli vyšetrované nedeštruktívne a vyhodnotené pomocou pevnosti s nezaručenou presnosťou a prvky boli odobrané z miest, v ktorých bola zistená najmenšia, priemerná a najväčšia pevnosť betónu [8].

3.4.5. Skúšanie betónu podľa rôznych predpisov

V súčasnej dobe platí niekoľko normatívnych predpisov pre *nedeštruktívne* skúšanie betónu. Existujú staršie a nové postupy skúšania.

Starší postup:

- ČSN 73 2011:2012 Nedeštruktivní zkoušení betonových konstrukcí
 - ČSN 73 1370 Nedeštruktivní zkoušení betonu – Společná ustanovení
 - ČSN 73 1273 Nedeštruktivní zkoušení betonu – Tvrdoměrné metody zkoušení betonu

Podľa ČSN nedeštruktívne skúšanie môže byť použité pre zistenie pevnosti betónu v tlaku v prípade nájdenia korelačného vzťahu medzi ukazovateľom nedeštruktívnej skúšky a meranou veličinou.

Nové postupy:

- ČSN EN 13791: Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích
 - ČSN EN 12504-2 Nedeštruktivní zkoušení – Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem

Podľa európskych noriem je možné použiť nepriamu metódu pre odhad pevnosti betónu v tlaku v konštrukcii pokiaľ je nájdený vzťah medzi pevnosťou a meranou veličinou. Pri použití vhodných korelačných vzťahov je možné odhadnúť pevnosť betónu v tlaku.

3.5. Metódy pre zisťovanie vlastností betónu

Pevnosť v tlaku - Metódy pre skúšanie pevnosti betónu v tlaku sú opísané v štyroch častiach normy ČSN EN 12504:

- Část 1: Vývrty: Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku;
- Část 2: Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem;
- Část 3: Stanovení síly na vytržení;
- Část 4: Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu.

Modul pružnosti – Pre stanovenie dynamického modulu sa používajú nasledovné metódy:

- Ultrazvuková metóda (ČSN 73 1371, ČSN EN 12504-4);
- Rezonančná metóda (ČSN 73 1372).

3.5.1. Tvrdomerná odrazová metóda

Tvrdomerné metódy patria k najpoužívanejším nedeštruktívnym metódam v stavebníctve, pretože pomerne jednoducho a rýchlo je možné na základe zisteného ukazovateľa tvrdosti stanoviť hodnotu kockovej pevnosti betónu v tlaku. Pre betónové konštrukcie sa používa Schmidtov tvrdomer. V závislosti na hrúbke betónu a predpokladanej pevnosti je potreba zvoliť vhodný typ tvrdomeru. Jednotlivé tvrdomery sa odlišujú veľkosťou energie, ktorú prístroj vyvodí prevedeným rázom. Najpoužívanější je typ N (Normal), ktorý je určený pre bežné betóny s hrúbkou od 10 cm a pevnosťou od 10-70 MPa. Princíp skúšania všetkými tvrdomermi je však rovnaký a výsledkom merania je odraz oceleového barana vymršteného pružinou na oceľový razník proti povrchu betónu. Veľkosť odrazu závisí na polohe tvrdomeru (základná poloha je vodorovná). Pomocou hodnoty odrazu sa stanovuje tvrdosť, ktorá je práve definovaná odporom skúšaného materiálu proti tvárnej (plastickej) deformácii materiálu. Vzťah stanovenej tvrdosti k príslušnej pevnosti vyjadrujú kalibračné vzťahy. Takto stanovené pevnosti majú charakter iba nezaručených pevností. Vhodnejší postup je kombinácia tvrdomerných skúšok a jadrových vývrtov z dôvodu spresnenia výsledkov [4].

Pred zhotovením tvrdomernej skúšky je nutné vhodne zvoliť skúšobné miesto a z jeho povrchu brúsením odstrániť skarbonatovanú vrstvu betónu, ktorá je obvykle výrazne tvrdšia. Povrch je potrebné vybrúsiť, až po jasnú štruktúru betónu. Napriek tomu, že samotná tvrdomerná odrazová metóda je nedeštruktívna, brúsenie skúšobnej plochy je

výrazným zásahom to vzhľad konštrukcie. Zisťovanie vlastností betónu iba z povrchovej vrstvy je však istým obmedzením napríklad u masívnych konštrukcií, kde môže byť betón pozdĺžne vrstevnatý, čo znamená, že vlastnosti betónu v jadre prierezu sú iné (často horšie), ako na povrchu. Povrchová vrstva môže vykazovať iné vlastnosti aj v dôsledku jej predošlej úpravy, napríklad pri statickom zaistení alebo pri rekonštrukcii, o ktorých pri starších objektoch často neexistujú patričné záznamy. Preto pri nedeštruktívnom zisťovaní vlastností betónu v konštrukcii sa uprednostňujú iné metódy napr. ultrazvuková impulzná metóda [15].



Obr. 3 Tvrdomer Schmidt typu N [24]

3.5.2. Ultrazvuková impulzná metóda

Princíp tejto metódy spočíva v opakovanom vysielaní mechanicky tlmených vln (impulzov) do skúšaného materiálu, vyvolaných v budiči s ultrazvukovou (ďalej UZ) frekvenciou. Meraním sa zisťuje doba priechodu impulzov UZ vlnenia materiálom.

Pre stanovenie vlastností materiálov a ich porúch sa v praxi používajú dva druhy metód, ktorými sa vyhodnotí buď rýchlosť šírenia UZ impulzov (priechodová metóda) alebo rýchlosť zachytenia odrazu UZ signálu od nehomogenity, defektu alebo cudzieho telesa v konštrukcii (odrazová metóda).

Najčastejšie sa aplikuje priechodová metóda pomocou prístrojov s dvomi sondami z nich jedna je budič signálu a druhá je snímač. Bežne využívané budiče v stavebníctve majú frekvencie od 20 kHz do 150 kHz, pričom vo väčšine prípadov sa využívajú sondy s frekvenciou 54 kHz. Používané prístroje sú TICO alebo Pundit PL 200. Podľa prístupnosti ku konštrukcii je možné prezvukovať priamo, nepriamo alebo polopriamo.

Táto metóda je ideálna pre prvky prístupné z oboch strán ako sú trámy a stĺpy, pretože nepriamym prezvučovaním, kedy sú obe sondy na rovnakej strane prvku, môžu byť namerané hodnoty skreslené z dôvodu pôsobenia vonkajších vplyvov [4].

Vyhodnocovanie fyzikálno-mechanických vlastností materiálu na základe rýchlosti šírenia ultrazvukového signálu sa stanovuje podľa príslušných kalibračných vzťahov uvedených v norme ČSN 73 1371.

Pre priame a polopriame prezvučovanie sa rýchlosť šírenia impulzu vypočíta zo vzťahu:

$$v_L = \frac{L}{T}$$

kde v_L je rýchlosť impulzu, v $[\text{km.s}^{-1}]$;

L meraná základňa v $[\text{mm}]$;

T čas vrátane t_{kor} , ktorý uplynie pri priebehu impulzu meranou základňou, v μs , tj. $T = T_L \pm t_{\text{kor}}$;

t_{kor} korekcia, ktorá sa skladá z tzv. mŕtveho času prístroja a rozdielu času šírenia impulzov [8].

Z rýchlosti šírenia UZ vln je možné stanoviť rovnomernosť betónu, dynamický modul pružnosti, prítomnosť trhlín, či väčších dutín v betóne. Z hľadiska diagnostiky starých konštrukcií je pomocou tejto metódy možné odhadnúť i pevnosť betónu v tlaku. U nových betónov je odhad pevnosti problematický, pretože všeobecné a smerné kalibračné vzťahy boli vytvorené pre tradičné betóny a nie sú príliš presné. Metóda je pre moderné betóny menej presná v porovnaní s betónmi vyrábanými v minulosti. Čím je pevnosť betónu vyššia, tým je vzájomný vzťah pevnosti a rýchlosti šírenia UZ impulzov menej presný. Napriek tomu je pevnosť v tlaku z rýchlosti šírenia ultrazvuku možné stanoviť v rozsahu od 5 MPa do 30 MPa pomocou spresnenia na jadrových vývrtoch. Pre diagnostiku starých konštrukcií je táto metóda odporúčaná, pretože v porovnaní s tvrdomeri má niekoľko výhod. Je dostatočne citlivá v oblasti nízkych pevnostných tried betónu, je celkom nedeštruktívna (nie je treba obrusovať povrch) a s jej využitím zisťujeme vlastnosti betónu v celej hrúbke konštrukcie [15].



Obr. 4 Prístroj Pundit PL 200 [32]

3.5.3. Jadrové vývrty

Jadrové vývrty sa z konštrukcie získavajú vŕtačkou s dutými valcami opatrenými na spodnej hrane diamantovými čepeľami, ktoré sú pri vŕtaní ochladzované vodou. Vŕtačka je v držiaku prichytená ku konštrukcii s možnosťou zvislého, vodorovného, či šikmého vŕtania. Vývrty by sa mali odoberať z miest najväčšieho tlakového namáhania, s minimálnym výskytom výstuže a dostatočnou vzdialenosťou od špár a hrán betónových prvkov. Rozmiestnenie výstuže je vhodné vopred zistiť pomocou elektromagnetického indikátora alebo georadaru. Veľkosť vŕtáku sa volí podľa maximálnej veľkosti zrna kameniva v konštrukcii, ktorá nesmie prekročiť $1/3$ priemeru vývrty. Vrt sa prevedie do požadovanej hĺbky s ohľadom na priemer a možný spôsob úpravy vývrty a tiež je nutné vziať do úvahy či ide o porovnanie s kockovou (doporučený pomer dĺžky vývrty k priemeru je 2,0) alebo valcovou pevnosťou (doporučený pomer dĺžky vývrty k priemeru je 1,0). Po odobratí vzorku sa môže overiť skarbonatovanie betónu pomocou roztoku fenoftaleínu (betón, ktorý nie je napadnutý karbonatáciou sa sfarbí do fialova). Pevnosť vývrty sa stanovuje skúškou v zaťažovacom lise. Neskúšajú sa vývrty, ktoré majú trhliny, dutiny a nemajú pevné konce [4].

Táto významná semideštruktívna metóda je pre zisťovanie pevnosti betónu v tlaku najpresnejšia ale predstavuje deštruktívny zásah do konštrukcie. Minimálny priemer jadrového vývrtu je 50 mm avšak z dôvodu veľkosti kameniva sa prevažne odoberajú vývrty s priemerom 100 mm. Z hľadiska diagnostiky starých, pamiatkovo chránených konštrukcií je takýto zásah nežiaduci a navyše pre objektívne zhodnotenie stavu konštrukcie je potrebné vyhodnotiť značné množstvo vzoriek. Preto metódu jadrových vývrtov je vhodné použiť ako metódu referenčnú pre spresnenie nedeštruktívnych skúšok na minimálnom potrebnom množstve vývrtov [15].



Obr. 5 Jadrový vývrt betónovej konštrukcie

Porovnanie metód pre stanovenie pevnosti v tlaku

Tab. 10 Porovnanie metód pre stanovenie pevnosti v tlaku

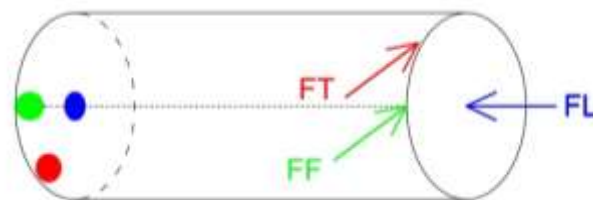
| | Skúšobné metódy | Výhody | Obmedzenia |
|-----------------|-------------------------------|---|--|
| Nepriame metódy | Tvrdomerne skúšky | <ul style="list-style-type: none"> • rýchle a jednoduché • opakovanosť meraní | <ul style="list-style-type: none"> • brúsenie povrchu • problémy s povrchovou vrstvou • zisťovanie vlastností len povrchovej vrstvy |
| | Ultrazvuková impulzová metóda | <ul style="list-style-type: none"> • čisto nedeštruktívna | <ul style="list-style-type: none"> • prístupnosť ku konštrukcii • zisťovanie vlastností betónu v celej hrúbke |
| Priama metóda | Jadrové vývrty | <ul style="list-style-type: none"> • presnosť | <ul style="list-style-type: none"> • značný zásah do konštrukcie • priamo vyhodnotenie sledovanej vlastnosti |

3.5.4. Rezonančná metóda

Každý predmet z tuhého materiálu sa po mechanickom impulze rozkmitá. Toto kmitanie sa uskutočňuje viacerými spôsobmi, k vyhodnoteniu dynamických materiálových charakteristík pravidelných telies používame vlastnú frekvenciu pozdĺžneho (FL), krúťového (FT) a priečneho (FF) kmitania. Pri rezonancii rastie amplitúda vynútených kmitov skúšaného telesa na maximum, ku ktorému dochádza v prípade, keď frekvencia vonkajšej budiacej sily je zhodná s vlastnou (rezonančnou) frekvenciou telesa. Základné rezonančné frekvencie sa určujú pomocou dvoch metód závislých na kmitaní skúšobného telesa, ktoré sú založené na neprerušovanom (spojitom) kmitaní a prerušovanom (impulznom) kmitaní. Používaný spôsob stanovenia vlastných frekvencií je impulzný, pretože na rozdiel od zložitej aparatury s osciloskopom vyžaduje použitie jednoduchšieho zariadenia ktoré má tri časti: Fourierov analyzátor (software v počítači), impulzné kladivko a snímač zariadenia. Miesto vyvodenia impulzov a miesto priloženia snímaču závisí na tom, či meriame frekvenciu pozdĺžneho, priečneho alebo krúťového kmitania (viď Obr. 6). Hodnota vlastnej frekvencie vypovedá o kvalite betónu. Čím je betón lepší z hľadiska modulu pružnosti, tým je nameraná vyššia vlastná frekvencia kmitania [17].



Obr. 7 Príprava merania rezonančných frekvencií impulznou metódou



Obr. 6 Miesta vyvodenia impulzov a miesta priloženia snímačov



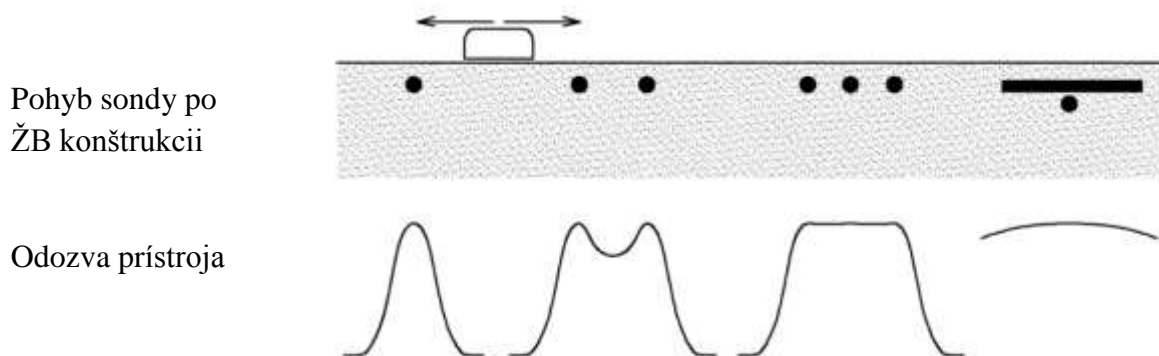
Obr. 8 Meranie priečneho kmitania

3.6. Metódy pre zisťovanie vystuženia betónu

3.6.1. Elektromagnetický indikátor výstuže

Použitie elektromagnetického indikátoru (tzv. Profometer), poskytuje prvotné orientačné informácie o umiestnení a množstve výstuže. Využíva sa tiež pre lokalizáciu výstuže pre bezpečné vŕtanie. Táto nedeštruktívna metóda je založená na využití feromagnetického javu alebo vírivých prúdov, kde budiace cievky okolo sondy vytvárajú elektromagnetické pole a vplyvom toho vzniká vo výstuži vírivý prúd, ktorý zachytávajú snímacie cievky. Odozva prístroja je tým väčšia, čím bližšie je výstuž k sonde a klesá s druhou mocninou ich vzdialeností.

Prednosťou elektromagnetických indikátorov je možnosť rýchlo a jednoducho stanoviť presnú polohu a smer výstuže, osovú vzdialenosť a množstvo výstuže, krytie (ak poznáme priemer výstuže) alebo priemer výstuže (ak poznáme jej krytie). Táto metóda má niekoľko obmedzení vyplývajúcich z možností prístrojov napr. hĺbkový dosah, ktorý sa pohybuje v rozmedzí od 60 – 220 mm podľa druhu prístroja. Taktiež nie je možné stanoviť druh výstuže s mierou korózie a v prípade hustého vystuženia alebo vystuženia v niekoľkých vrstvách táto metóda preukazuje svoje nedostatky vid' Obr. 9 [5; 18].



Obr. 9 Znáznornenie odozvy prístroja a jeho obmedzenie pri malej vzdialenosti jednotlivých prútov výstuže [5]

Vylepšenia v oblasti elektromagnetických indikátorov výstuže prinášajú nové prístroje ktorým je napríklad Profometer PM-630 (vid' Obr. 10) od firmy Proceq. Prístroj je vybavený dotykovým displejom čo umožňuje okamžité zobrazenie priebehu merania. Má integrovanú sondu, ktorá na výstuž upozorňuje zvukovým i svetelným signálom.

Umožňuje zisťovanie polohy výstuže do hĺbky 185 mm a stanoviť priemer výstuže do hĺbky 63 mm [25].



Obr. 10 Profometer PM 630 [25]



Obr. 11 Meranie pomocou Profometeru PM 630

3.6.2. Georadar

Georadar (GPR - Ground Penetrating Radar) je metóda založená na princípe vysielania vysokofrekvenčných elektromagnetických pulzov do skúmaného prostredia a na následnej registrácii ich odrazov od prekážok. V súčasnosti majú tieto prístroje vysokofrekvenčné antény s frekvenciami od 20 MHz do 4 GHz. S voľbou frekvencie je spätý hĺbkový dosah a rozlišovacia schopnosť. S rastúcou frekvenciou narastá rozlišovacia schopnosť prípadných nehomogenít, avšak hĺbkový dosah georadaru klesá.

Georadar je dnes štandardne využívaný v oblasti geológie a geotechniky a vďaka technickému vývoju sa v poslednej dobe využíva aj v stavebnej diagnostike. Prelomom vo využívaní princípu georadaru v stavebníctve sa stal prístroj Hilti PS 1000, ktorého konštrukcia a používaný software sú priamo vyvinuté pre lokalizáciu výstuže a prípadných nehomogenít v betóne. Sonda určená k pohybu po povrchu konštrukcie je vybavená trojicou antén, ktoré umožňujú určenie polohy aj niekoľkých objektov ležiacich nad sebou do hĺbky 300 mm s presnosťou ± 10 mm. Software priamo na monitore sondy vykresľuje polohu zachytených objektov buď v 2D zobrazení (pôdorys skenovanej plochy a rezy v dvoch na sebe kolmých rovinách) alebo priamo 3D zobrazenie skladby zistených

objektov. V praxi je možné použitie líniové skenovanie (pohyb sondy len v jednom smere) alebo plošné skenovanie, kedy sondou pohybujeme po povrchu konštrukcie na rastre o ploche 600 x 600 mm, alebo 1200 x 1200 mm.

Georadar je metóda, ktorá dokáže ostatné metódy zisťovania polohy, krytia a priemeru výstuže vhodne doplniť alebo v niektorých prípadoch čiastočne nahradiť. Výhodou je dosah do veľkej hĺbky, možnosť prehľadného zobrazenia viac objektov nad sebou a okamžité vyhodnotenie. V prípade lokalizácie ocelej výstuže zariadenie nie je schopné stanoviť priemer výstuže a zlyháva aj v prípade použitia drátkobetónu [18].



Obr. 12 Georadar Hilti PS 1000 [26]



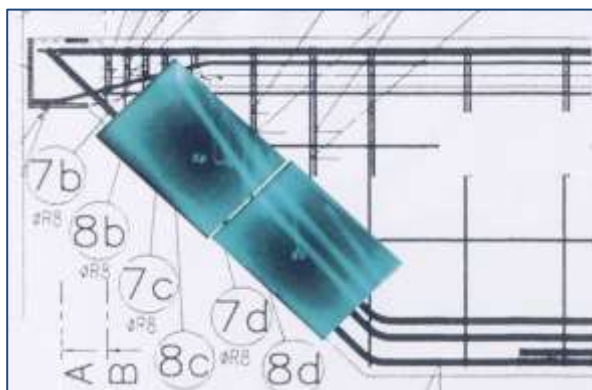
Obr. 13 Meranie pomocou georadaru Hilti PS 1000

3.6.3. Rádiografická metóda

Rádiografická metóda využíva k skúšaní materiálu ionizujúce žiarenie (röntgenové alebo gama žiarenie) so schopnosťou prechádzať prostredím, v ktorom je zoslabované. Miera zoslabenia pri rovnakej energii žiarenia závisí na hrúbke a na objemovej hmotnosti materiálu. V prípade železobetónu je žiarenie výrazne zoslabované oceľovou výstužou v porovnaní s betónom. Miera zoslabenia žiarenia po priechode materiálom je zaznamenávaná na rádiografický film s rozmermi 300 x 400 mm, ktorý po vyvolaní zobrazuje vnútornú štruktúru zobrazovaného miesta. Rozloženie výstuže v prežiarenej časti sa prejaví svetlejšími stopami nižšieho zčernania na filme, ktoré je výsledkom centrálného priemetu výstuže na rádiografický film. Pre rádiografiu železobetónových konštrukcií a konštrukcií z predpätého betónu sa používajú uránové tieniace kryty s rádionuklidmi.

Zdrojom gama žiarenia je rádioaktívny kobalt Co 60, ktorý umožňuje konštrukciu prežiariť až do hĺbky 500 mm [18].

Metóda umožňuje v kompletnom rozsahu stanovenie polohy, druhu a priemeru výstuže a to bez akéhokoľvek porušenia konštrukcie. Uránové kryty pre túto aktivitu však dosahujú hmotnosti 140 až 180 kg, to znamená že sú náročne prenosné. Samotné použitie tejto metódy v praxi je zložité a vyžaduje vysoké investičné náklady na vybavenie a dodržiavanie bezpečnostných predpisov ako je vylúčenie pohybu osôb v okolí zhotovovania skúšok z dôvodu ochrany pred žiarením [18; 19].



Obr. 14 Príklad zaznamenania polohy výstuže pomocou rádiografie [18]



Obr. 15 Gamagrafický kryt [27]

3.6.4. Odsekanie krycej vrstvy betónu

Použitie tejto metódy vyžaduje značný zásah do konštrukcie. Odsekanie krycej vrstvy betónu umožňuje nahliadnutie do konštrukcie a tým stanovenie množstva, polohy, krytia, priemeru, druhu a miery korózie výstuže.

Pred zhotovením sekanej sondy je vhodné overiť polohu výstuže nedeštruktívne pomocou profometru alebo georadaru a na základe tohto merania vymedziť oblasť pre sekanú sondu. Ohraničená časť konštrukcie sa odstráni do takej hĺbky aby bola obnažená betonárska výstuž. Priemer a krytie výstuže sa stanoví posuvným meradlom. Druh, množstvo a prípadná korózia sa zhodnotí vizuálne.

Porovnanie metód pre zisťovanie vystuženia betónu

Tab. 11 Porovnanie metód pre zisťovanie vystuženia betónu

| | Skúšobné metódy | Výhody | Obmedzenia |
|----------------|-------------------------------------|---|---|
| Nedeštruktívne | Elektromagnetický indikátor výstuže | <ul style="list-style-type: none"> • jednoduchá a rýchla metóda • určenie polohy, smeru a množstva výstuže • určenie krytia a priemeru výstuže • lokalizácia výstuže pre bezpečné vŕtanie | <ul style="list-style-type: none"> • hĺbkový dosah prístrojov • nedá sa stanoviť druh výstuže • problémy pri hustom vystužení a pri vystužení vo viacerých vrstvách • nedá sa určiť miera korózie výstuže |
| | Georadar | <ul style="list-style-type: none"> • jednoduchá a rýchla metóda • určenie polohy, krytia a priemeru výstuže • dosah do väčšej hĺbky • rozoznanie viacerých objektov nad sebou • priame vyhodnotenie nameraných dát | <ul style="list-style-type: none"> • nedá sa stanoviť priemer výstuže • nedá sa určiť miera korózie výstuže |
| | Rádiografická metóda | <ul style="list-style-type: none"> • stanovenie polohy, druhu a priemeru výstuže • určenie množstva, polohy a kvality zainjektovania predpätej výstuže • lepší hĺbkový dosah ako georadar | <ul style="list-style-type: none"> • náročnosť aplikovania metódy v praxi a vyhodnotenia skúšok • hmotnosť zariadenia • použitie rádioaktívneho gama žiarenia |
| Deštruktívne | Odsekávanie krycej vrstvy betónu | <ul style="list-style-type: none"> • určenie množstva, polohy, priemeru, krytia, druhu a mieru korózie výstuže | <ul style="list-style-type: none"> • deštruktívny zásah do konštrukcie |

4. Postup hodnotenia existujúcej železobetónovej konštrukcie

4.1. Úvod

Praktická časť je venovaná prieskumu a hodnoteniu budovy železničného nádražia vo Vítkoviciach pri Ostrave. Tento objekt patrí k najväčším verejným stavbám, v ktorých sa architektonicky uplatnil kedysi populárny **bruselský štýl**. Tento štýl sa prejavil v architektúre a umení v Československu na konci 50., 60. a 70. rokov 20. storočia. Typické je použitie skla (na fasádach, v mozaikách), keramických obkladov, vlnitého plechu, plastických hmôt a náterov vo výrazných farbách. V roku 1963 architekt Josef Danda vytvoril jednotné dielo, ktoré spojuje spomínané prvky „bruselu“, a tak sa výpravňa nádražia Ostrava-Vítkovice stala jedným z najlepších príkladov bruselského štýlu v Českej Republike [28].



Obr. 16 Uplatnenie bruselského štýlu v interiéri nádražnej budovy vo Vítkoviciach [29]

4.1.1. Popis objektu

Skúmaný objekt sa nachádza v katastrálnom území mesta Ostrava v mestskej časti Ostrava – Vítkovice na ulici U Nádraží. Poloha objektu je znázornená na Obr. 17.



Obr. 17 Umiestnenie objektu [30]

Nádražná budova pozostáva z výpravnej haly, bočného krídla, nadchodu a nástupíšť. Pôdorysný tvar objektu je v tvare písmena L (viď Obr. 18). Dispozičné riešenie budovy vychádzalo z terénnej konfigurácie okolia. Koľajisko s jedným bočným a jedným ostrovným nástupiskom bolo umiestnené v záreze.



Obr. 18 Pohľad na objekt [30]

Nádražná hala sa skladá z dvoch hlavných častí: verejnej a služobnej. Stredom verejnej časti je hala s galériou. Celý priestor haly je v rovnakej výškovej úrovni ako plocha prednádražia. V prízemí haly sa pôvodne zakupovali cestovné lístky. Boli tu poskytované služby ako kaderníctvo, pošta, informácie a iné. Schodiskový blok k výstupu na galériu je

v hale umiestnený excentricky, čo porušuje symetriu priestoru. Galéria je vo výške 4 m nad prízemím haly a na úrovni nadchodu vedúceho na ostrovné nástupište. Okolo galérie boli sústredené všetky priestory slúžiace k čakaniu a občerstveniu cestujúcich. Plocha nádražia sa nachádza na poddolovanom území s očakávanými poklesmi až o 3,5 m. Preto k dosiahnutiu ostrovného nástupišt'a bol použitý nadchod. 1. nástupište, položené o 3 m nižšie bolo prístupné z podchodu alebo použitím schodiska priamo z nádražnej haly. V časti pozdĺž 1. nástupišt'a (bočné krídlo) bola umiestnená služobná časť. Z podsklepenia bočného krídla sa vchádzalo do CO krytov.

Z konštrukčného hľadiska sú prvé poschodie verejnej časti a strecha oceľové, ostatné časti sú železobetónové. Systém oceľového skeletu vychádza zo spôsobu zastrešenia haly. Hlavné väzníky s rozponom 33 m a osovou vzdialenosťou 12 m sú vynášané bočnými vertikálnymi stenami, kotvenými do železobetónovej konštrukcie 4 m nad dlažbu haly. Výstužné väzníky majú rozpon 12 m a osovú vzdialenosť 4,5 m. Vysunutá priečelná stena má pílovité usporiadanie v hornej a vertikále v dolnej časti a je kotvená do železobetónových pásov v úrovni haly. Hĺbka haly vrátane priečelnej steny je 39 m, jej šírka 33 m a výška od dlažby k zavesenému podhl'adu činí 11 m. Krytý nadchod a prístrešky nástupíšť so stožiarimi, vzdialenými 12 m sú oceľové. Celková dĺžka nástupíšť je u každého 190 m. Nerovnomerné poklesy medzi koľajiskom a budovou (dôsledkom poddolovania) boli vyrovnané rektifikačným článkom medzi budovou a nadchodom. Oceľová konštrukcia haly s ohľadom na jej pružnosť bola navrhnutá bez dilatácií, avšak s možnosťou rektifikácií. Inak je budova vrátane železobetónovej časti rozčlenená na 7 dilatačných celkov s 15 cm širokými dilatáciami. Stavba je založená na železobetónových pásoch, ktoré boli zvolené z obavy pred kolísavými stavmi spodnej vody vo vzťahu k hladinám riek Odra a Ostravice [31].



Obr. 19 Oceľová konštrukcia haly [31]



Obr. 20 Konštrukcia nadchodu, nástupíšť [31]



Obr. 21 Pohľad na nádražie v súčasnosti [31]

V 70. rokoch prešlo nádražím denne viac ako 4000 osôb. Súčasná frekvencia cestujúcich zďaleka nedosahuje pôvodných hodnôt. S klesajúcim množstvom cestujúcich upadá i celkové využitie a technický stav budovy a preto vlastník budovy – České dráhy, hľadá pre výpravnú budovu nové, adekvátne využitie. Národný pamiatkový ústav sa snaží o zapísanie budovy ako kultúrnej pamiatky. Prieskum a diagnostika objektu boli vykonané v rámci projektu Ministerstva kultúry ČR „Analýza a prezentace hodnot moderní architektury 60. a 70. let 20. století jako součástí národní a kulturní identity ČR“ (DG16P02R007) s účelom overenia materiálových charakteristík betónu v konštrukcii.

4.2. Predbežný prieskum objektu

Počas prvej prehliadky objektu bol vykonaný iba vizuálny prieskum a objasnenie skutočného stavu konštrukcie. V dôsledku nedostatočného využívania objektu tak dochádza k jeho viditeľnému chátraniu, ktoré sa prejavuje najmä degradáciou omietok v stropných konštrukciách v hale v časti s pokladňami a v celom 2. NP. V objekte boli zaznamenané aj trhliny v stenách. Počas predbežného prieskumu avšak neboli zistené žiadne rozsiahle závady ani poruchy, ktoré by vyžadovali okamžité opatrenia.



Obr. 22 Poruchy v stropnej konštrukcii v 1. NP



Obr. 23 Zaznamenaná trhlina v stene v 1. NP

4.3. Prevedenie skúšok in situ

4.3.1. Lokalizácia výstuže

Pre lokalizáciu výstuže boli použité nedeštruktívne skúšky. Najskôr sa previedla kontrola prítomnosti výstuže s polohou a osovými vzdialenosťami elektromagnetickým indikátorom od švajčarskej firmy Proceq – Profometr PM 630 s osadenou sondou, ktorá má hĺbkový dosah do 185 mm pod povrch betónu s presnosťou od ± 1 do 4 mm v závislosti od krytia výstuže. Pre doplnenie bol taktiež pre kontrolu výskytu výstuže a určenie jej polohy v stĺpoch použitý merací systém Hilti PX 10, ktorý sa skladá z vysielача PX 10T a prijímača PX 10R. Princíp metódy spočíva v nasmerovaní prijímača na nastavenú polohu

vysielača, kedy správnu polohu oznámi svetelná signalizácia na prijímači. Je tak možné preniesť lokalizovaný stred výstuže z jednej strany stĺpu na druhú stranu a v prípade potreby súčasne stanoviť hrúbku stĺpu. Rozsah meracieho systému je od 50 do 1350 mm s presnosťou určenia polohy ± 8 mm na hrúbku steny 200 mm. Presnosť a výkonnosť môžu byť však významne ovplyvnené podmienkami na stavenisku. Na všetkých skúšobných miestach bol použitý aj georadar Hilti PS 1000, ktorý je najlepšou diagnostickou pomôckou pre náhľad do vnútra konštrukcie v reálnom čase priamo na stavbe. Zisťovanie polohy výstuže spomínanými metódami bolo prevedené za účelom bezpečného odoberania jadrových vývrtov a to bez naručenia výstuže v konštrukcii.



Obr. 24 Lokalizácia výstuže pomocou Profometru PM 630



Obr. 25 Použitie meracieho systému Hilti PX 10



Obr. 26 Určovanie polohy výstuže pomocou georadaru Hilti PS 1000



Obr. 27 Kriedou nakreslený raster vystuženia stĺpu

4.3.2. Jadrové vývrty

Jadrové vývrty boli zhotovené pomocou vŕtacej techniky Hilti DD 120 a to kolmo k povrchu konštrukcie aby nedošlo k poškodeniu vývrty. Počas vŕtania bol vrták neustále chladený vodou, ktorá sa odvádzala do priemyslového vysávača. Použité vrtáky mali vnútorný priemer 50 mm a 75 mm. Po vyvŕtaní sa každá vzorka patrične označila. Taktiež miesta odberov boli zdokumentované a to zhotovením fotografie a zmeraním hĺbky vývrty.



Obr. 28 Zhotovovanie jadrového vývrty



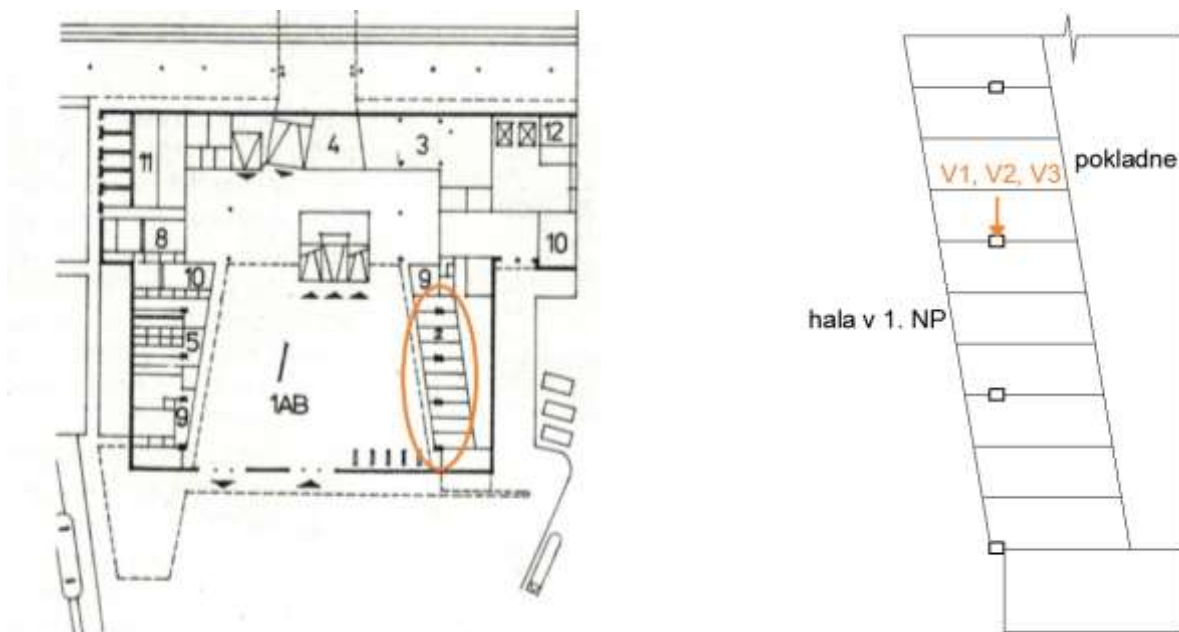
Obr. 29 Vyberanie jadrového vývrtnu z konštrukcie



Obr. 30 Meranie hĺbky vývrtnu

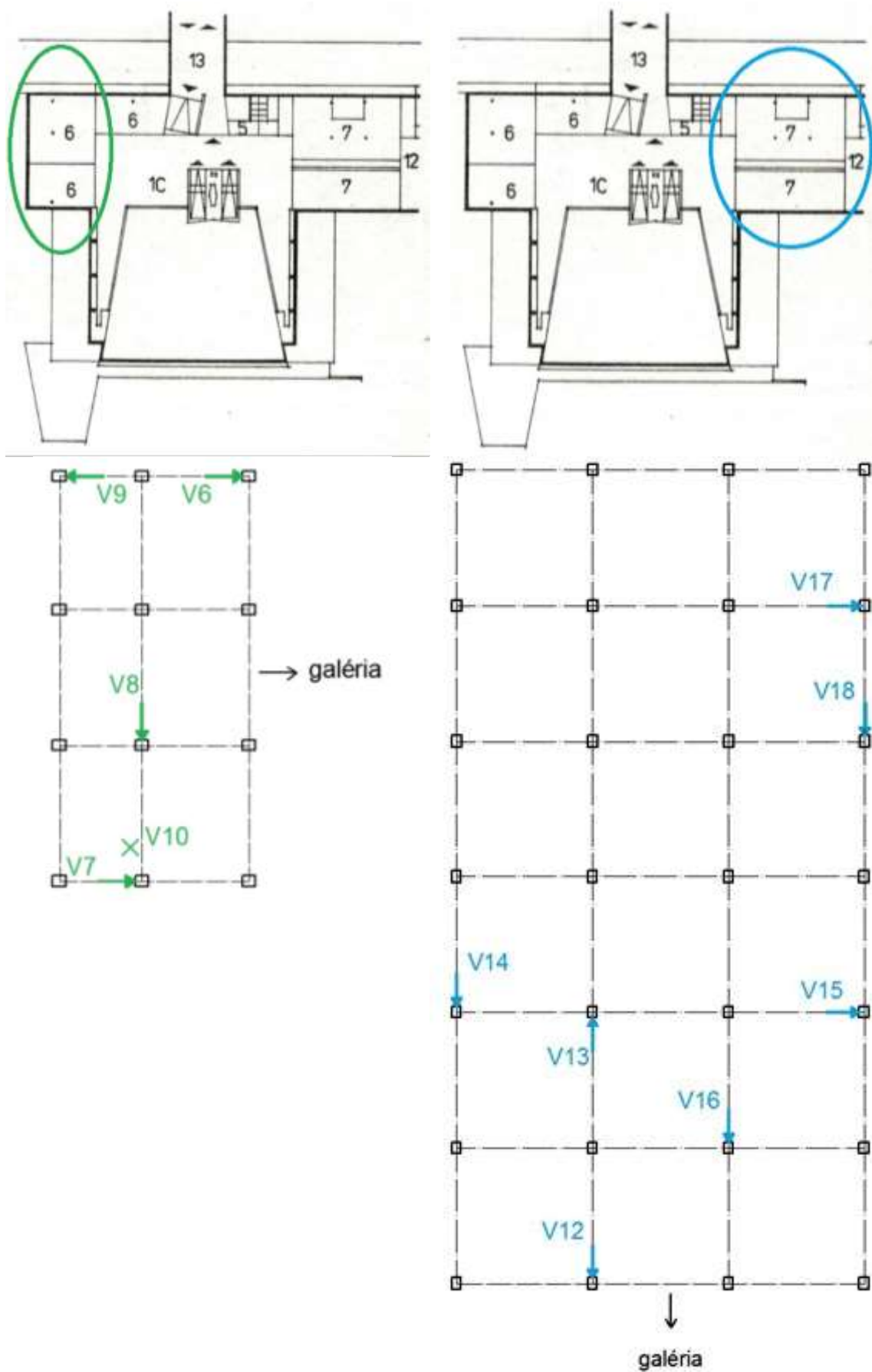
Pre stanovenie pevnostných charakteristík betónu bolo celkovo odobraných **18 jadrových** vývrtov so stĺpov a prievlaku v troch častiach nádražnej haly: v 1. NP podlaží v mieste pokladní, v 2. NP a v suteréne v kryte CO.

Oblasť odoberania vývrtov v 1. NP v mieste pokladní



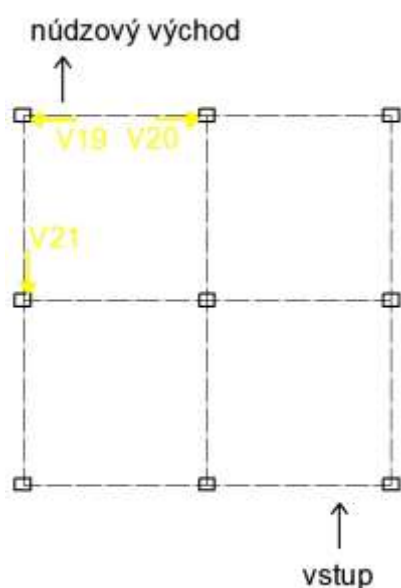
Obr. 31 Vľavo – náčrt 1. NP; Vpravo – schéma priestoru pokladní s vyznačením skúšobných miest V1, V2 a V3

Oblasť odoberania vývrtov v 2. NP



Obr. 32 Nákres 2. NP s vyznačením skúšobných miest

Oblasť odoberania vývrtov v kryte CO



Obr. 33 Vyznačenie skúšobných miest v kryte CO

4.4.3. Hĺbka karbonatácie

Test zistenia hĺbky karbonatácie bol prevedený ihneď po vytiahnutí jadrového vývrtu z konštrukcie a to nástrekom 1% roztoku fenoftaleínu rozpusteného v etylalkohole. Neskarbonatovaný betón má $\text{pH} \geq 9,5$ a po aplikovaní roztoku fenoftaleínu sa sfarbí do fialova. Betón, ktorého povrch sa nesfarbí je skarbonatovaný a stráca tak pasívnu funkciu ochrany výstuže pred koróziou (výstuž v prostredí s $\text{pH} < 9,5$ podlieha korózii).

Tab. 12 Hĺbky skarbonatovanej vrstvy jednotlivých vývrtov

| | vývrt | hĺbka [mm] | | vývrt | hĺbka [mm] |
|----------|-------|------------------|---------|-------|------------------|
| pokladne | V1 | 5 | 2. NP | V13 | bez karbonatácie |
| | V2 | 5 | | V14 | 35 |
| | V3 | bez karbonatácie | | V15 | 10 |
| 2. NP | V6 | 10 | kryt CO | V16 | 10 |
| | V7 | bez karbonatácie | | V17 | 10 |
| | V8 | 5 | | V18 | 5 |
| | V9 | 10 | | V19 | 30 |
| | V10 | 5 | | V20 | 50 |
| | V12 | 20 | | V21 | 40 |

Jadrové vývrty odobrané zo stĺpov v hale v 1. NP v oblasti pokladní majú maximálnu hĺbku karbonatácie 5 mm a tak krycia vrstva betónu zaist'uje dostatočnú ochranu výstuže pred koróziou. Vzorky z 2. NP majú hĺbku karbonatácie od 5 do 35 mm. Najviac skarbonatovaný betón sa nachádza v suteréne v priestoroch krytu CO s najväčšou dosiahnutou hĺbkou karbonatácie a to 50 mm (V20).



Obr. 34 Jadrový vývrt V20 odobratý v kryte CO s hĺbkou skarbonatovanej vrstvy 50 mm

4.4. Laboratórne skúšky

4.4.1. Skúšobné telesá

Z jednotlivých vývrtov boli vyrobené skúšobné telesá. Telesá pre skúšky pevnosti betónu v tlaku a modulu pružnosti sme získali rezaním na stolnej píle s diamantovým kotúčom. Tie boli upravené do pomeru dĺžky vývrtu k priemeru 1:1 a 1:2. Všetky telesá sú popísané a v prirodzene vlhkom stave boli zmerané a zvážené.



Obr. 35 Skúšobné telesá z jadrových vývrtov Ø 50: V1, V2 a V3



Obr. 36 Skúšobné telesá z jadrových vývrtov Ø 75: V6, V8, V10, V12, V14, V16



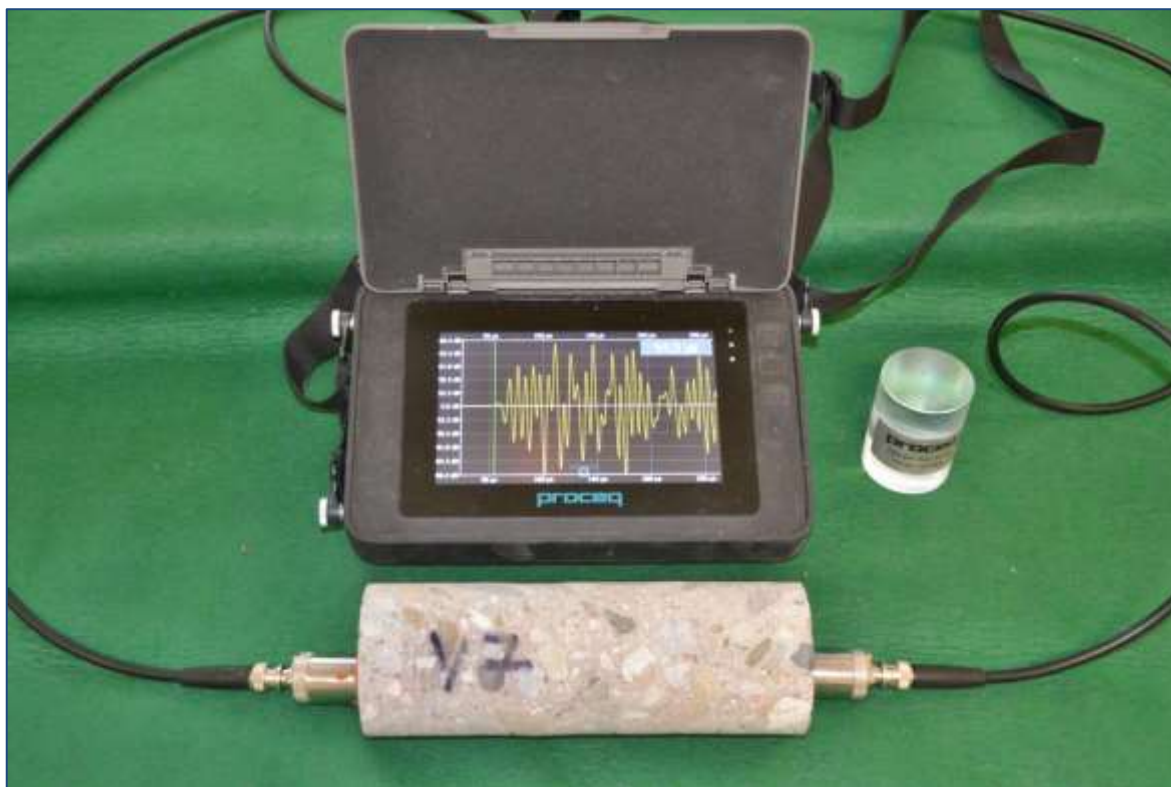
Obr. 37 Skúšobné telesá z jadrových vývrtov Ø 75: V7, V9, V13, V15, V17, V18



Obr. 38 Skúšobné telesá z jadrových vývrtov Ø 75: V19, V20, V21

4.4.2. Ultrazvuková impulzová metóda

Pomocou ultrazvukovej impulzovej metódy bola na jednotlivých skúšobných telesách priamym prezvučovaním zmeraná doba priechodu ultrazvukových vln. Podľa normy ČSN 73 1371 sa následne určila rýchlosť šírenia UZ vln v_L a bol vyhodnotený dynamický modul pružnosti E_{cu} . Namerané hodnoty a celkové vyhodnotenie sú uvedené v kapitole 4.5.



Obr. 39 Meranie doby priechodu UZ vln pomocou prístroja Pundit PL 200

4.4.3. Rezonančná metóda

Pre stanovenie dynamického modulu pružnosti boli odvodené vzťahy, ktoré vyjadrujú závislosť tejto fyzikálnej mechanickej vlastnosti betónu medzi vlastnou frekvenciou skúšobného telesa. Rezonančnou metódou boli zmerané vlastné frekvencie pozdĺžneho f_L , priečného f_f a krúživého kmitania f_t na telesách s rozmermi 1:2 (dĺžka valca je najmenej dvojnásobok jeho priemeru). Skúšobné teleso bolo rozkmitané priamym stykom s telesom pomocou kladivka. Kmitanie sníma snímač, ktorý zaznamenáva veľkosť amplitúdy – sleduje sa maximálna amplitúda vlastných kmitov telesa pri rezonancii (frekvencia budiaceho zariadenia je totožná s vlastnou frekvenciou skúšobného telesa). Z nameraných hodnôt vlastných frekvencií bol stanovený dynamický modul pružnosti podľa ČSN 73 1372. Vstupné údaje a výsledky sú uvedené v kapitole 4.5.



Obr. 40 Meranie pozdĺžnej frekvencie



Obr. 41 Meranie priečnej frekvencie

4.4.4. Skúška pevnosti v tlaku v zaťažovacom lise

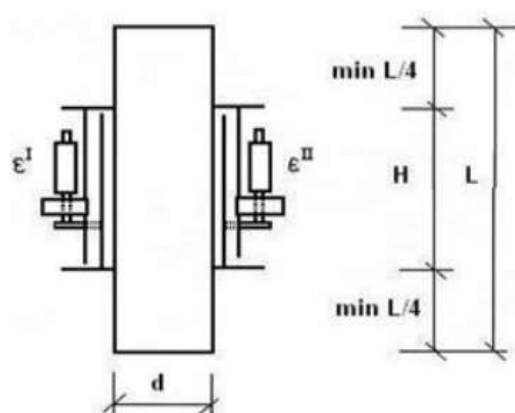
Skúšobné telesá s rozmermi v pomere 1:1 boli zaťažované v skúšobnom lise až do porušenia. Pred samotným zaťažovaním sa očistili dotykové plochy tlačných dosiek lisu a taktiež sa odstránili všetky nečistoty z povrchu skúšobných telies na plochách, ktoré sa dotýkali dosiek lisu. Zaťažovanie bolo plynulé. Zaznamenalo sa dosiahnuté maximálne zaťaženie a určila sa pevnosť v tlaku skúšobného telesa f_c podľa ČSN EN 12390-3. Namerané hodnoty a určenie charakteristickej pevnosti betónu v tlaku vid' kapitola 4.5.



Obr. 42 Zaťažovanie a drtenie skúšobnej vzorky V21 pre zistenie maximálnej sily F

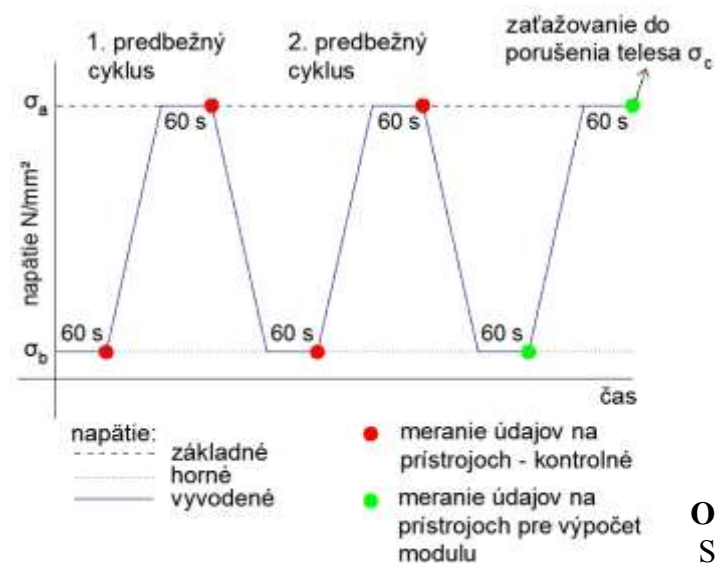
4.4.5. Statický modul pružnosti

Podstata tejto metódy spočíva v meraní pružných deformácií skúšobného telesa pri určitom napätí a vychádza z Hookovho zákona. Skúška bola prevedená na vybraných vzorkách s rozmermi v pomere 2:1 na základe ustanovení z normy ČSN ISO 1920-10, na ktorých bola vopred určená pevnosť v tlaku pre stanovenie tretinového napätia používaného pre stanovenie statického modulu pružnosti. V skúšobnom lise FORM+TEST boli všetky skúšobné telesá centricky osadené a opatrené tenzometrami meriacimi pretvorenie telies. Tenzometry boli osadené tak aby boli rovnako vzdialené od oboch koncov, najmenej v jednej štvrtine dĺžky vývrtu.



Obr. 43 Vľavo – schéma umiestnenia meračov deformácií; vpravo – umiestnenie tenzometru na vzorku

Pretvorenie je merané na dvoch protiľahlých stranách telesa. Pred samotným meraním bolo nutné skontrolovať, či sa zmerané deformácie nelíšia o viac ako 20 % od svojho priemeru. Priebeh celej zaťažovacej skúšky je znázornený na nasledujúcom obrázku [14].



Obr. 44 Priebeh cyklov zaťažovacej Skúšky [6]



Obr. 45 Skúšobný lis FORM+TEST



Obr. 46 Meranie statického modulu pružnosti v zaťažovacom lise

Namerané hodnoty sa vyhodnocujú podľa vzťahu:

$$E_c = \frac{\sigma_a - \sigma_b}{\varepsilon_a - \varepsilon_b}$$

kde

σ_a je horné zaťažovacie napätie [MPa];

σ_b základné napätie [MPa];

- ε_a priemerné pretvorenie pri hornom zaťažovacom napätí [-];
- ε_b priemerné pretvorenie pri základnom zaťažovacom napätí [-].

4.5. Vyhodnotenie nameraných dát

4.5.1. Pevnosť v tlaku

Pevnosť betónu v tlaku bola zisťovaná na nasledujúcich vzorkách: V1 A, V1 B, V2 A, V3 A – získané z jadrových vývrtov prevedených v oblasti pokladní; V6 B, V8 A, V8 B, V10, V12 B, V14 – získané z vývrtov z 2. NP; V19 A, V20 A a V21 A – z vývrtov z krytu CO. Všetky skúšobné telesá boli patrične zmerané v súlade s normou ČSN EN 12504-1. Priemer vývrtu d bol zmeraný s pevnosťou $\pm 1\%$. Pri meraní výšky vývrtu h sa zmerala maximálna a minimálna výška s presnosťou $\pm 1\%$. Pomocou digitálnej váhy bola zmeraná hmotnosť m_r skúšobných telies v stave prirodzenej vlhkosti. Na základe týchto nameraných údajov je vyhodnotená objemová hmotnosť betónu D_r . Namerané hodnoty a z nich vypočítaná objemová hmotnosť sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

Tab. 13 Namerané hodnoty vybraných skúšobných telies a vyhodnotená objemová hmotnosť

| Skúšobné miesto | Označenie telesa | Časť konštrukcie | Rozmery | | Hmotnosť vzorku [g] m_r | Objemová hmotnosť [kg/m ³] D_r |
|-----------------|------------------|------------------|---------|-------|---------------------------------|--|
| | | | priemer | výška | | |
| | | | [mm] | [mm] | | |
| | | | d | h | | |
| Pokladne | V1 A | Stĺp | 49,4 | 51,7 | 219,4 | 2215 |
| | V1 B | Stĺp | 49,3 | 52,6 | 224,1 | 2232 |
| | V2 A | Stĺp | 49,3 | 51,7 | 221,4 | 2244 |
| | V3 A | Stĺp | 49,3 | 50,7 | 221,6 | 2289 |
| 2. NP | V6 B | Stĺp | 74,0 | 76,2 | 729,5 | 2226 |
| | V8 A | Stĺp | 74,9 | 76,7 | 764,3 | 2262 |
| | V8 B | Stĺp | 74,9 | 77,5 | 773,0 | 2264 |
| | V10 | Prievlak | 74,0 | 67,7 | 656,6 | 2255 |
| | V12 B | Stĺp | 74,9 | 75,5 | 758,0 | 2279 |
| | V14 | Stĺp | 74,9 | 76,2 | 763,7 | 2275 |
| Kryt CO | V19 A | Stĺp | 74,8 | 76,3 | 761,5 | 2271 |
| | V20 A | Stĺp | 74,1 | 76,4 | 725,5 | 2202 |
| | V21 A | Stĺp | 74,9 | 76,00 | 757,1 | 2261 |
| priemer | | | | | | 2250 |

Priemerná hodnota objemovej hmotnosti $D_r = 2250 \text{ kg/m}^3$. Na základe vypočítaných hodnôt objemovej hmotnosti betónu je možné prehlásiť betón v konštrukcii za **rovnomerný**.

Vzorky boli rozdrtené v lise za účelom zistenia maximálnej sily F . Vydelením tejto sily plochou prierezu skúšobného telesa A získame pevnosť v tlaku daného telesa f_c . Keďže odobraté vývrty z konštrukcie nemajú základné normové rozmery (valec s priemerom 150 mm a výškou 300 mm), dosiahnutá pevnosť v tlaku musela byť prepočítaná. Pre prepočet pevnosti na valcovú $f_{c,cyl}$ bol použitý súčiniteľ štihlosti $\kappa_{c,cy}$ a súčiniteľ priemeru $\kappa_{cy,d}$. Pevnosť betónu v tlaku na kockách $f_{c,cube}$ bola získaná prepočtom valcovej pevnosti pomocou prevodného súčiniteľa $\kappa_{cy,cu}$ podľa normy ČSN EN 12390-3 OPRAVA 1.

Priemerná kubická pevnosť betónu v tlaku $\mathbf{f_{c,cube} = 36,2 \text{ MPa}}$. Pevnosti v tlaku a príslušné súčinitele uvádza Tab. 14.

Tab. 14 Pevnosť betónu v tlaku (valcová a kubická)

| Označenie telesa | Max. sila [kN] | Pevnosť vzorky MPa | Štihlosť [-] | Súčiniteľ štihlosti [-] | Súčiniteľ priemeru [-] | Valcová pevnosť MPa | Prevodný súčiniteľ [-] | Kubická pevnosť MPa |
|---------------------|-------------------|--------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|
| | F | f_c | λ | $\kappa_{c,cy}$ | $\kappa_{cy,d}$ | $f_{c,cyl}$ | $\kappa_{cy,cu}$ | $f_{c,cube}$ |
| V1 A | 86,9 | 45,3 | 1,05 | 0,87 | 0,91 | 35,9 | 1,241 | 44,5 |
| V1 B | 62,7 | 32,8 | 1,07 | 0,87 | 0,91 | 26,0 | 1,249 | 32,5 |
| V2 A | 65,0 | 34,1 | 1,05 | 0,87 | 0,91 | 27,0 | 1,248 | 33,6 |
| V3 A | 84,5 | 44,3 | 1,03 | 0,86 | 0,91 | 34,6 | 1,242 | 43,0 |
| V6 B | 128,0 | 29,8 | 1,03 | 0,86 | 0,93 | 23,8 | 1,251 | 29,8 |
| V8 A | 130,0 | 29,5 | 1,02 | 0,86 | 0,93 | 23,6 | 1,250 | 29,5 |
| V8 B | 153,5 | 34,8 | 1,03 | 0,86 | 0,93 | 27,9 | 1,246 | 34,7 |
| V10 | 159,5 | 37,1 | 1,00 | 0,85 | 0,93 | 29,3 | 1,244 | 36,4 |
| V12 B | 155,0 | 35,2 | 1,01 | 0,85 | 0,93 | 27,8 | 1,248 | 34,7 |
| V14 | 170,5 | 38,7 | 1,02 | 0,86 | 0,93 | 30,9 | 1,243 | 38,5 |
| V19 A | 190,5 | 43,4 | 1,02 | 0,86 | 0,93 | 34,7 | 1,246 | 43,2 |
| V20 A | 131,0 | 30,4 | 1,03 | 0,86 | 0,93 | 24,3 | 1,251 | 30,4 |
| V21 A | 176,0 | 39,9 | 1,01 | 0,85 | 0,93 | 31,6 | 1,243 | 39,2 |
| priemer | | | | | | | | 36,2 |

Charakteristická pevnosť betónu v tlaku podľa ČSN ISO 13822

V tejto norme je uvedený všeobecný postup pre všetky druhy materiálov. Z výsledkov skúšok pre stanovenie kubickej pevnosti betónu v tlaku uvedených v Tab. 14 bol stanovený priemer m_x , smerodajná odchýlka s_x a variačný súčiniteľ V_x . Ďalej bolo treba určiť súčiniteľ k_n pre stanovenie 5% kvantilu pre neznáme konštrukcie. Uvažovalo sa normálne rozdelenie danej materiállovej vlastnosti. Všetky spomenuté parametre uvádza Tab. 15.

Tab. 15 Vyhodnotenie charakteristickej pevnosti v tlaku podľa ČSN ISO 13822

| Veľičina | Označenie | Hodnota | Jednotka |
|--|--------------------------------|-------------|-------------------|
| Objemová hmotnosť | D_r | 2250 | kg/m ³ |
| Stredná hodnota kubickej pevnosti betónu | m_x | 36,2 | MPa |
| Výberová smerodajná odch. kubickej pevnosti | s_x | 5,2 | MPa |
| Výsledný variačný súčiniteľ | V_x | 14,4 | [%] |
| Počet platných vzoriek | n | 13 | [-] |
| Súčiniteľ odhadu 5% - ného kvantilu | k_n | 1,96 | [-] |
| Charakteristická pevnosť betónu v tlaku | $f_{ck, is}$ | 26,0 | [MPa] |

Charakteristická hodnota pevnosti betónu v tlaku bola stanovená na 26,0 MPa. Tento výsledok je stanovený z odobratých jadrových vývrtov z konštrukcie s prepočtom na kubickú pevnosť betónu v tlaku. Hodnota zodpovedá pevnostnej triede betónu: **C 20/25**.

Charakteristická pevnosť v tlaku podľa ČSN EN 13791

Táto nová norma je zameraná na stanovenie pevnosti betónu v tlaku v konštrukcii. Pre zabezpečenie potrebnej spoľahlivosti vyžaduje čo najväčší počet vývrtov. Pre posúdenie zhody uvádza dve kritériá. V mojom prípade bolo použité kritérium B určené pre 3 až 14 vývrtov. Z výsledkov skúšok pre stanovenie kubickej pevnosti betónu v tlaku uvedených v Tab. 14 sa stanovila stredná hodnota $f_{m(n), is}$ ďalej bola vybraná najmenšia hodnota pevnosti $f_{is, najmenšia}$ a nakoniec sa stanovil súčiniteľ k , ktorý závisí na počte vývrtov ($k=5$ pre 10-14 vývrtov). Nasledovne sa stanovila charakteristická pevnosť betónu v tlaku v konštrukcii $f_{ck, is}$, ktorá nemusí byť preukázaná na plnú hodnotu charakteristickej pevnosti ako na skúšobných telesách vyrobených v betonárke a uvažuje sa súčiniteľ 0,85 pre

pevnosť in situ. Nakoniec bola stanovená charakteristická pevnosť betónu v tlaku na normových telesách f_{ck} . Všetky parametre uvádza nasledujúca tabuľka.

Tab. 16 Vyhodnotenie charakteristickej pevnosti v tlaku podľa ČSN EN 13791

| Stredná hodnota | Najnižší výsledok skúšky | Súčiniteľ | Odhad char. pevnosti v tlaku (nižšia z hodnôt) | | Súčiniteľ | Charakteristická pevnosť |
|-----------------|---------------------------|-----------|--|------|-----------|--------------------------|
| [MPa] | [MPa] | [-] | [MPa] | | [-] | [MPa] |
| $f_{m(n),is}$ | $f_{is, \text{najmenší}}$ | k | $f_{ck,is}$ | | - | f_{ck} |
| 36,2 | 29,5 | 5 | 31,2 | 33,5 | 0,85 | 26,52 |

Pre C 30/37: $f_{ck,is} = 0,85 \cdot 37 \text{ MPa} = 31,5 \text{ MPa} \rightarrow 31,2 \text{ MPa} < 31,5 \text{ MPa}$

Pre C 25/30: $f_{ck,is} = 0,85 \cdot 30 \text{ MPa} = 25,5 \text{ MPa} \rightarrow 31,2 \text{ MPa} > 25,5 \text{ MPa} \checkmark$

Podľa ČSN EN 13791 bol betón zaradený do pevnostnej triedy **C 25/30**.

4.5.2. Dynamický modul pružnosti betónu

Dynamický modul pružnosti bol zisťovaný na nasledujúcich telesách: V1, V2, V3 – získané z jadrových vývrtov z oblasti pokladní; V6 A, V7, V9, V12 A, V13, V15, V16, V17, V18 – z vývrtov z 2. NP; V19, V20, V21 – z vývrtov získaných z krytu CO; pomocou ultrazvukového a rezonančného merania. Na vymenovaných skúšobných vzorkách bol vopred zmeraný priemer d , výška h a hmotnosť m_r a následne vyhodnotená objemová hmotnosť D_r vid' Tab. 17 v súlade s ČSN EN 12504-1.

Tab. 17 Namerané hodnoty vybraných skúšobných telies a vyhodnotená objemová hmotnosť

| Skúšobné miesto | Označenie telesa | Časť konštrukcie | Rozmery | | Hmotnosť vzorku | Objemová hmotnosť |
|-----------------|------------------|------------------|----------|----------|----------------------|----------------------|
| | | | priemer | výška | | |
| | | | [mm] | [mm] | [g] | [kg/m ³] |
| | | | d | h | m_r | D_r |
| Pokladne | V1 | Stĺp | 49,3 | 151,3 | 642,8 | 2226 |
| | V2 | Stĺp | 49,3 | 152,9 | 655,7 | 2246 |
| | V3 | Stĺp | 49,3 | 150,6 | 643,9 | 2240 |
| 2. NP | V6 A | Stĺp | 74,1 | 134,3 | 1297,4 | 2240 |
| | V7 | Stĺp | 74,0 | 213,9 | 2080,9 | 2262 |
| | V9 | Stĺp | 74,0 | 237,1 | 2287,3 | 2243 |
| | V12 A | Stĺp | 74,6 | 119,2 | 1188,4 | 2281 |
| | V13 | Stĺp | 74,8 | 211,9 | 2117,2 | 2274 |
| | V15 | Stĺp | 74,8 | 196,5 | 1964,6 | 2275 |
| | V16 | Stĺp | 74,7 | 151,9 | 1503,5 | 2259 |
| | V17 | Stĺp | 74,8 | 196,5 | 1964,6 | 2275 |
| | V18 | Stĺp | 74,7 | 193,1 | 1942,3 | 2295 |
| Kryt CO | V19 | Stĺp | 74,8 | 152,8 | 1523,7 | 2269 |
| | V20 | Stĺp | 74,1 | 151,8 | 1449,0 | 2213 |
| | V21 | Stĺp | 74,8 | 149,6 | 1506,6 | 2292 |
| priemer | | | | | | 2260 |

- **Ultrazvuková impulzná metóda**

Použitím ultrazvukovej impulznej metódy bola na každom telese na trikrát zmeraná doba priechodu ultrazvukových vĺn a následne spočítaná priemerná hodnota rýchlosti šírenia impulzov ultrazvukového vlnenia v_L . Stanovenú rýchlosť je nutné prepočítať na rýchlosť v trojrozmernom prostredí pomocou súčiniteľa k_3 . Pomocou vymenovaných údajov a objemovej hmotnosti bol vypočítaný dynamický modul pružnosti E_{cu} podľa zásad normy ČSN 73 1371. Údaje sú zaznamenané v Tab. 18.

Tab. 18 Dynamický modul pružnosti stanovený z rýchlosti šírenia UZ vln

| Označenie telesá | Objemová hmotnosť | Doba prechodu UZ vln | | | | Rýchlosť šírenia UZ | Súč. Rozmernosti | Dynamický modul |
|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------|------------------------|----------------------|-----------------------|
| | [kg/m ³] | [μs] | | | | [m.s ⁻¹] | [-] | [GPa] |
| | D_r | T₁ | T₂ | T₃ | priem. | v_L | k₃ | E_{cu} |
| V1 | 2226 | 40,7 | 40,2 | 40,3 | 40,4 | 3745 | 1,0541 | 28,1 |
| V2 | 2246 | 38,3 | 38,2 | 38,1 | 38,2 | 4003 | 1,0541 | 32,4 |
| V3 | 2240 | 39,1 | 38,9 | 38,8 | 38,9 | 3868 | 1,0541 | 30,2 |
| V6 A | 2240 | 37,5 | 38,4 | 37,8 | 37,9 | 3544 | 1,0541 | 25,3 |
| V7 | 2262 | 55,0 | 55,6 | 55,2 | 55,3 | 3870 | 1,0541 | 30,5 |
| V9 | 2243 | 61,0 | 60,7 | 60,9 | 60,9 | 3895 | 1,0541 | 30,6 |
| V12 A | 2281 | 31,3 | 30,4 | 30,0 | 30,5 | 3904 | 1,0541 | 31,3 |
| V13 | 2117 | 54,3 | 54,4 | 55,5 | 54,7 | 3871 | 1,0541 | 30,7 |
| V15 | 2263 | 60,7 | 60,3 | 60,6 | 60,5 | 3699 | 1,0541 | 27,9 |
| V16 | 2259 | 43,2 | 43,0 | 41,5 | 42,6 | 3569 | 1,0541 | 25,9 |
| V17 | 2275 | 50,8 | 50,5 | 50,2 | 50,5 | 3891 | 1,0541 | 31,0 |
| V18 | 2295 | 48,9 | 48,7 | 49,7 | 49,1 | 3933 | 1,0541 | 31,9 |
| V19 | 2269 | 36,8 | 36,3 | 37,0 | 36,7 | 4163 | 1,0541 | 35,4 |
| V20 | 2213 | 39,2 | 39,1 | 39,0 | 39,1 | 3882 | 1,0541 | 30,0 |
| V21 | 2292 | 37,1 | 36,9 | 37,1 | 37,0 | 4040 | 1,0541 | 33,7 |
| priemer | 2260 | | | | | | | 30,3 |

Vyhodnotenie modulu pružnosti E_c

Modul pružnosti betónu E_c konštrukcie sa zo zistených dynamických modulov pružnosti na skúšobných telesách z merania ultrazvukovou impulzovou metódou stanoví pomocou strednej hodnoty dynamického modulu pružnosti a prenasobením tejto hodnoty zmenšujúcim súčiniteľom κ_u určeného podľa normy ČSN 73 2011 vid' Tab. 19.

Tab. 19 Statický modul pružnosti

| Veličina | Označenie | Hodnota | Jednotka |
|--|----------------------|-------------|-------------------|
| Objemová hmotnosť | D _r | 2260 | kg/m ³ |
| Stredná hodnota dynamického modulu pružnosti | m _x | 30,3 | GPa |
| Zmenšujúci koeficient | κ _u | 0,81 | [-] |
| Statický modul | E_c | 24,5 | [GPa] |

Statický modul pružnosti vyhodnotený na skúšobných telesách použitím ultrazvukovej metódy **E_c = 24,5 GPa**.

- **Rezonančná metóda**

Pomocou rezonančnej metódy bola na každej vzorke zmeraná vlastná frekvencia pozdĺžneho kmitania f_L , priečneho kmitania f_f a krúťového kmitania f_t . Počas merania bola vzorka uložená na pružnej podložke aby nebolo kmitanie vzorky tlmené. Z prvého vlastného kmitočtu pozdĺžneho kmitania bol vyhodnotený modul pružnosti betónu v ťahu/tlaku E_{crL} . Pre stanovenie hodnoty modulu pružnosti E_{crf} pri priečnom kmitaní bol stanovený korelačný súčiniteľ c_1 , ktorý závisí na pomere polomeru zotrvačnosti i k dĺžke skúšobného telesa L . Na záver bol vyhodnotený dynamický modul pružnosti betónu v šmyku G_{cr} . Z merania boli vylúčené tri vzorky – V6 A, V12 A, V16, pretože boli príliš krátke a práve ich dĺžka by ovplyvnila presnosť merania rezonančnou metódou a výsledky by boli skresľujúce. Namerané hodnoty a vyhodnotené moduly pružnosti betónu vid' Tab. 20.

Tab. 20 Dynamický modul pružnosti stanovený rezonančnou metódou

| Označ. telesa | Objem. hmotnosť | Prvý vlastný kmitočť kmitania | | | Dyn. modul | Pomer | Korelač. súč. | Dyn. modul | Dyn. modul |
|------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------|------------|----------------------|------------------------|-----------------------|
| | [kg/m ³] | [kHz] | [kHz] | [kHz] | [GPa] | [-] | [-] | [GPa] | [GPa] |
| | D_r | f_L | f_f | f_t | E_{crL} | i/L | c₁ | E_{crf} | G_{cr} |
| V1 | 2226 | 11,415 | 5,433 | 7,660 | 26,6 | 0,0815 | 1,536 | 27,5 | 12,0 |
| V2 | 2246 | 11,758 | 5,513 | 7,880 | 29,0 | 0,0806 | 1,525 | 29,6 | 13,0 |
| V3 | 2240 | 12,014 | 5,713 | 8,020 | 29,3 | 0,0818 | 1,541 | 30,1 | 13,1 |
| V7 | 2262 | 8,357 | 4,037 | 5,474 | 28,9 | 0,0865 | 1,601 | 28,5 | 12,4 |
| V9 | 2243 | 7,563 | 3,480 | 4,842 | 28,9 | 0,0780 | 1,494 | 29,6 | 11,8 |
| V13 | 2274 | 8,314 | 4,252 | 5,533 | 28,2 | 0,0882 | 1,623 | 30,4 | 12,5 |
| V15 | 2263 | 7,596 | 3,754 | 5,142 | 26,2 | 0,0835 | 1,562 | 28,2 | 12,0 |
| V17 | 2275 | 8,753 | 4,686 | 5,940 | 26,9 | 0,0952 | 1,719 | 28,9 | 12,4 |
| V18 | 2295 | 9,671 | 5,114 | 6,254 | 32,0 | 0,0967 | 1,741 | 32,9 | 13,4 |
| V19 | 2269 | 12,478 | 7,433 | 8,089 | 33,0 | 0,1224 | 2,157 | 33,3 | 13,9 |
| V20 | 2213 | 11,613 | 7,150 | 7,660 | 27,5 | 0,1220 | 2,144 | 29,6 | 12,0 |
| V21 | 2292 | 12,415 | 7,450 | 8,234 | 31,6 | 0,1250 | 2,195 | 31,6 | 13,9 |
| priemer | 2260 | | | | 29,0 | | | 30,0 | 12,7 |

Vyhodnotenie dynamického modulu pružnosti E_c

Modul pružnosti betónu E_c konštrukcie sa zo zistených dynamických modulov pružnosti na skúšobných telesách z merania rezonančnou metódou stanoví pomocou strednej hodnoty dynamického modulu pružnosti a prenasobením tejto hodnoty zmešujúcim súčiniteľom κ_r určeného podľa normy ČSN 73 2011. Bol určený výsledný statický modul pružnosti E_{c1} (pri pozdĺžnom kmitaní) a E_{c2} (pri priečnom kmitaní) vid' Tab. 21.

Tab. 21 Statický modul pružnosti

| Veľičina | Označenie | Hodnota | Jednotka |
|---|----------------------------|-------------|----------------------|
| Objemová hmotnosť | D_f | 2260 | [kg/m ³] |
| Stredná hodnota dyn. modulu pružnosti E_{crL} | m_{x1} | 29,0 | [GPa] |
| Stredná hodnota dyn. modulu pružnosti E_{crf} | m_{x2} | 30,0 | [GPa] |
| Zmešujúci koeficient | κ_r | 0,9 | [-] |
| Statický modul | E_{c1} | 26,1 | [GPa] |
| Statický modul | E_{c2} | 27,0 | [GPa] |

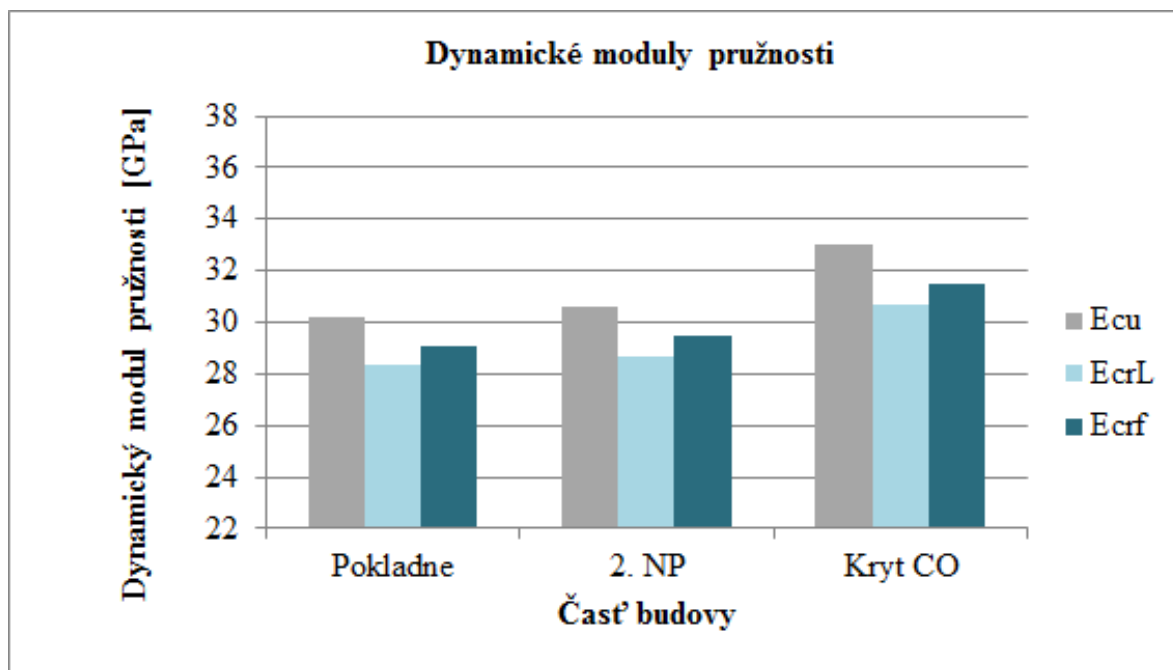
Statický modul pružnosti betónu vyhodnotený na skúšobných telesách použitím rezonančnej metódy $E_{c1} = 26,1$ GPa (pri pozdĺžnom kmitaní) a $E_{c2} = 27,0$ GPa (pri priečnom kmitaní).

4.5.3. Porovnanie dynamických modulov pružnosti

Boli porovnané výsledné hodnoty dynamických modulov pružnosti betónu z merania ultrazvukovou a rezonančnou metódou, čo znázorňuje Graf 1. Hodnoty modulov pružnosti boli vzájomne porovnávané v 3 častiach budovy – oblasť pokladní, 2. NP a kryt CO. Z každej časti boli pre porovnanie vybrané tri skúšobné telesá: V1, V2, V3 – pokladne; V7, V9, V13 – 2. NP; V19, V20, V21 – kryt CO. Vstupné hodnoty pre porovnanie sú zaznamenané v Tab. 22. Tieto údaje boli prevzaté z Tab. 18 (pre E_{cu}) a Tab. 20 (pre E_{crL} , E_{crf}).

Tab. 22 Hodnoty dynamických modulov pružnosti

| Dyn. modul | E_{cu1} | E_{cu2} | E_{cu3} | E_{cu} (priemer) |
|------------|------------|------------|------------|---------------------|
| Pokladne | 28,1 | 32,4 | 30,2 | 30,2 |
| 2. NP | 30,5 | 30,6 | 30,7 | 30,6 |
| Kryt CO | 35,4 | 30,0 | 33,7 | 33,0 |
| Dyn. modul | E_{crL1} | E_{crL2} | E_{crL3} | E_{crL} (priemer) |
| Pokladne | 26,6 | 29,0 | 29,3 | 28,3 |
| 2. NP | 28,9 | 28,9 | 28,2 | 28,7 |
| Kryt CO | 33,0 | 27,5 | 31,6 | 30,7 |
| Dyn. modul | E_{crf1} | E_{crf2} | E_{crf3} | E_{crf} (priemer) |
| Pokladne | 27,5 | 29,6 | 30,1 | 29,0 |
| 2. NP | 28,5 | 29,6 | 30,4 | 29,5 |
| Kryt CO | 33,3 | 29,6 | 31,6 | 31,5 |

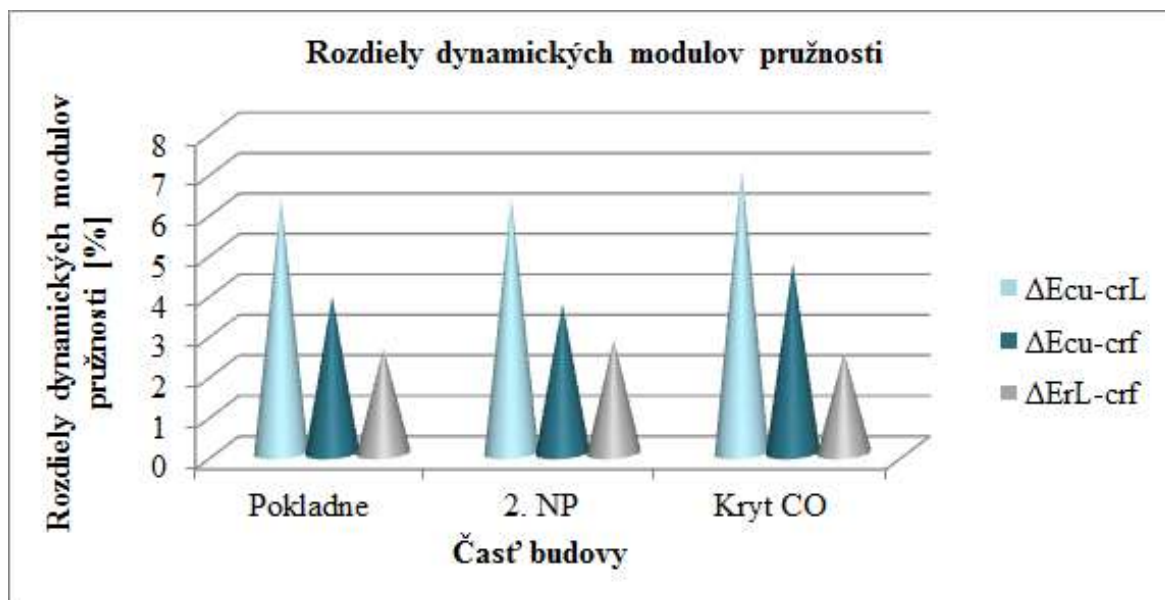


Graf 1 Grafické znázornenie zistených dynamických modulov pružnosti z merania ultrazvukovou a rezonančnou metódou

Pre posúdenie rozdielov dynamických modulov pružnosti z merania ultrazvukovou a rezonančnou metódou boli vypočítané rozdiely medzi E_{cu} a E_{cr} a medzi E_{crL} a E_{crf} . Rozdiely boli vyjadrené v MPa a v percentách (z absolútnej hodnoty rozdielu). Hodnoty sú uvedené v Tab. 23. Za porovnávací modul bol zvolený modul pružnosti z merania ultrazvukovou impulzovou metódou E_{cu} . Porovnanie rozdielov znázorňuje Graf 2.

Tab. 23 Rozdiely dynamických modulov pružnosti

| Časť budovy | ΔE_{cu-crL} | ΔE_{cu-crL} | ΔE_{cu-crf} | ΔE_{cu-crf} | ΔE_{rL-crf} | ΔE_{rL-crf} |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | [GPa] | [%] | [GPa] | [%] | [GPa] | [%] |
| Pokladne | 1,91 | 6,31 | 1,17 | 3,88 | -0,73 | 2,59 |
| 2. NP | 1,93 | 6,32 | 1,13 | 3,69 | -0,80 | 2,80 |
| Kryt CO | 2,32 | 7,02 | 1,55 | 4,70 | -0,77 | 2,50 |



Graf 2 Grafické znázornenie rozdielov medzi jednotlivými typmi dynamických modulov pružnosti

Z vypočítaných hodnôt pre porovnanie dynamických modulov je zrejmé, že rozdiely medzi týmito modulmi sa pohybujú v rozmedzí od 2,5% po 7,02%. Z toho vyplýva, že hodnoty dynamických modulov pružnosti z merania ultrazvukovou impulzovou a rezonančnou metódou sú približne rovnaké. Vzniknuté rozdiely môžu byť spôsobené nehomogenitou skúšobných telies, ktorá ovplyvňuje výsledky merania.

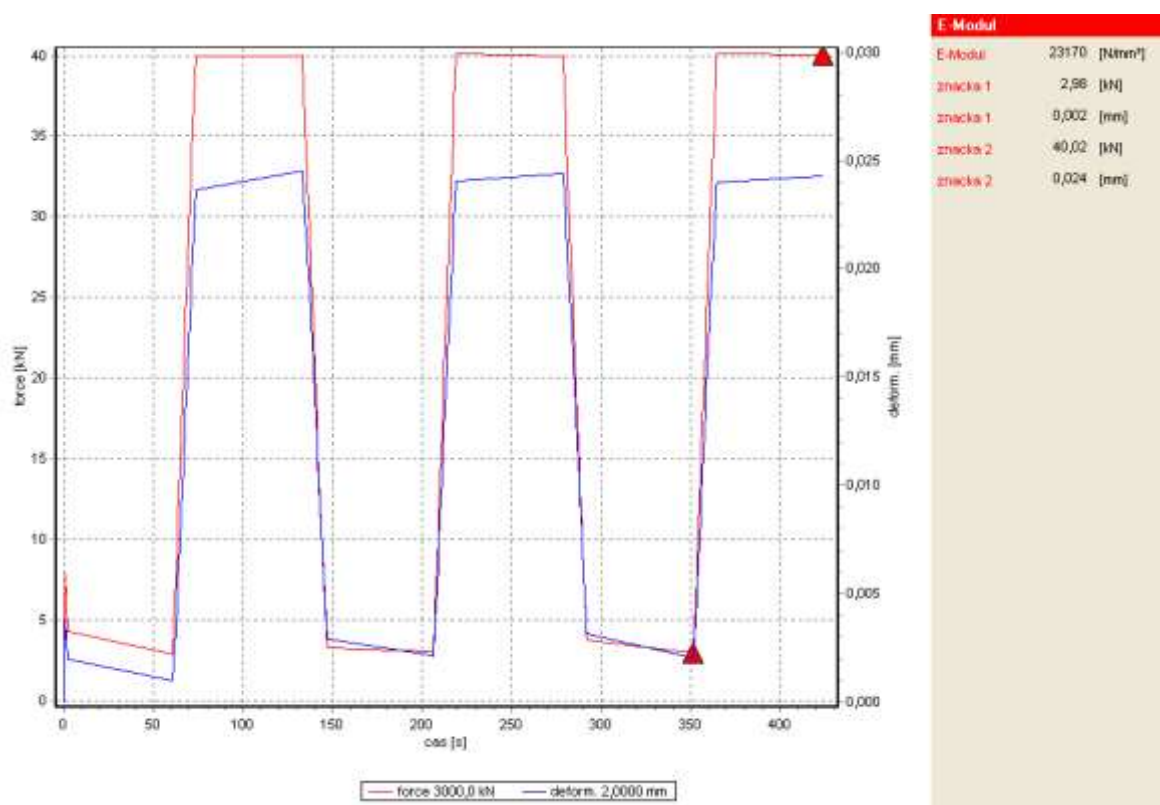
4.5.4. Statický modul pružnosti

Pre stanovenie statického modulu pružnosti bolo vybraných 9 skúšobných telies V1, V2, V3 – pokladne; V6 A, V12 A, V16 – 2. NP; V19, V20 a V21 – kryt CO. Každé teleso bolo uložené do priestoru lisu, ktorý na začiatku vyvolával základné napätie $\sigma_b = 0,5$ MPa. Napätie bolo plynulo zväčšované až do hodnoty σ_b (1/3 očakávanej hodnoty pevnosti v tlaku). Hodnoty deformácií a síl pri uvedených napätiach boli priebežne zaznamenávané. Po správnom vycentrovaní vzorky a v skúške pokračuje a napätie sa pozvoľna znižuje a zvyšuje na horné a základné zaťažovacie napätie vždy s výdržou 60 sekúnd. Predbežný

zaťažovací cyklus sa zopakoval 2 krát vid' Obr. 48. Po ukončení posledného predbežného zaťažovacieho cyklu boli odčítané hodnoty pre výpočet modulu a to: hodnoty posledného pomerného pretvorenia ε_a , ε_b a síl F_a a F_b . Namerané hodnoty a výsledky udáva Tab. 23. Výsledok skúšky bol na záver vyjadrený aj graficky vid' Graf 3.



Obr. 47 Skúšobné telesá pre stanovenie statického modulu pružnosti



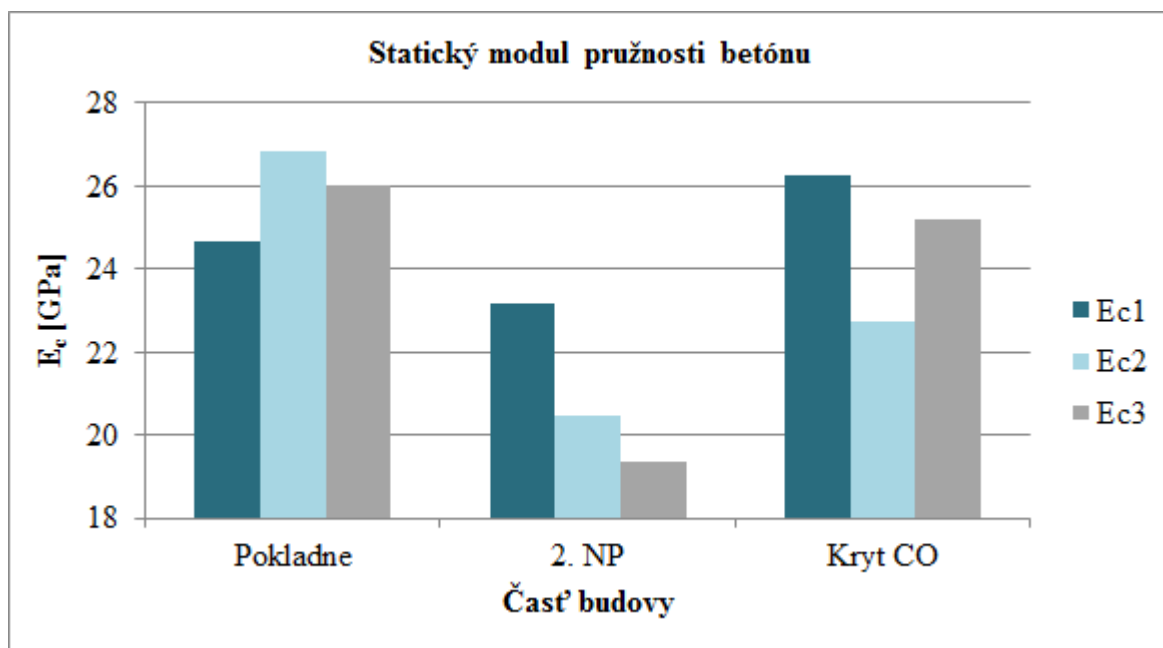
Obr. 48 Priebeh skúšky statického modulu pružnosti na telese V6

Tab. 24 Namerané hodnoty a vyhodnotenie statického modulu pružnosti

| Skúš. miesto | Označ. Telesa | Priemer | Dĺžka základne | Zaťažovacie hladiny | | Deform. vzorky | Rozdiel napätí | Pretvorenie | Modul pružnosti |
|--------------|---------------|---------|----------------|---------------------|------------------|----------------|----------------|-------------|-----------------|
| | | [mm] | [mm] | dolná | horná | | | | |
| | | d | l | F _{0,5} | F _{1/3} | ΔL | Δσ | Δε | E _c |
| Pokladne | V1 | 49,3 | 70 | 2,10 | 20,00 | 0,0266 | 0,00938 | 0,00038 | 24,7 |
| | V2 | 49,3 | 70 | 2,60 | 20,00 | 0,0238 | 0,00912 | 0,00034 | 26,8 |
| | V3 | 49,3 | 70 | 2,50 | 20,10 | 0,0248 | 0,00922 | 0,00035 | 26,0 |
| 2. NP | V6 A | 74,1 | 60 | 2,98 | 40,02 | 0,0222 | 0,00859 | 0,00037 | 23,2 |
| | V12 A | 74,6 | 60 | 2,95 | 50,07 | 0,0316 | 0,01078 | 0,00053 | 20,4 |
| | V16 | 74,7 | 70 | 3,06 | 44,94 | 0,0346 | 0,00956 | 0,00049 | 19,4 |
| Kryt CO | V19 | 74,8 | 70 | 2,99 | 55,01 | 0,0315 | 0,01184 | 0,00045 | 26,3 |
| | V20 | 74,1 | 70 | 3,00 | 39,96 | 0,0264 | 0,00857 | 0,00038 | 22,8 |
| | V21 | 74,8 | 70 | 3,02 | 50,02 | 0,0297 | 0,01070 | 0,00042 | 25,2 |
| priemer | | | | | | | | | 23,9 |

Hodnoty statického modulu pružnosti E_c sa pohybujú v rozmedzí zaokrúhlene od 19 GPa až 27 GPa. Tieto hodnoty sú však výrazne nižšie ako hodnoty uvedené v norme ČSN 73 2011 prislúchajúce stanovenej pevnostnej triede betónu C 20/25, pre ktorú sa statický modul pružnosti pohybuje okolo hodnoty 30 GPa. Modul pružnosti betónu ovplyvňujú

viaceré faktory. Jedným z nich je kamenivo. Práve druh použitého kameniva je zásadný ako pre výslednú hodnotu modulu pružnosti tak aj pre vzájomný pomer medzi hodnotami modulov dynamických a statických vid' kapitola 4.5.5. Výrazne nižšie hodnoty modulu pružnosti, ktoré zodpovedajú pevnostnej triede betónu C 12/15 sú spôsobené použitím ťaženého kameniva.



Graf 3 Grafické vyjadrenie výsledkov skúšky statického modulu pružnosti betónu

4.5.5. Porovnanie dynamického a statického modulu pružnosti

Porovnaním výsledkov skúšok statického modulu pružnosti E_c a dynamických modulov pružnosti $E_{dyn,U}$ (z ultrazvuku) a $E_{dyn,FF}$ (z priečnej rezonančnej frekvencie) boli zistené skutočné hodnoty zmenšujúcich koeficientov κ_u pre prepočet dynamických modulov ultrazvukových a κ_r pre prepočet dynamických modulov stanovených rezonančnou metódou. Hodnoty sú uvedené v Tab. 25. Vo výpočtoch pre prepočet dynamických modulov pružnosti na statické, ktoré sú uvedené vyššie boli použité zmenšujúce koeficienty $\kappa_u = 0,81$ a $\kappa_r = 0,90$ prevzaté z normy ČSN 73 2011 pre pevnostnú triedu betónu C 25/30. Ako je zrejmé z Tab. 25 skutočné hodnoty zmenšujúcich koeficientov sú nižšie ako normové (priemerná hodnota $\kappa_u = 0,79$; $\kappa_r = 0,84$). Vyplýva to zo skutočnosti, že hodnoty koeficientov uvedených v norme ČSN 73 2011 boli stanovené pre 30 rokmi pre tradičné betóny vyrábané odlišným spôsobom ako dnes. Napriek tomu, že skúmaný objekt

pochádza z obdobia 70. rokov 20. storočia sú normové hodnoty znižujúcich koeficientov len orientačné a skutočné hodnoty budú vychádzať nižšie.

Tab. 25 Hodnoty znižujúcich koeficientov κ_u a κ_r pre prepočet dynamických modulov pružnosti na statické

| Skúš. miesto | Označ. Telesa | Statický modul pružnosti | Dynamický modul pružnosti | | Znižujúci koeficient κ_u | | Znižujúci koeficient κ_r | |
|--------------|---------------|--------------------------|---------------------------|--------------|---------------------------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| | | [GPa] | [GPa] | [GPa] | [-] | [-] | [-] | [-] |
| | | E_c | $E_{dyn,U}$ | $E_{dyn,FF}$ | jednotl. | priemer | jednotl. | priemer |
| Pokladne | V1 | 24,7 | 28,1 | 27,5 | 0,88 | 0,86 | 0,90 | 0,89 |
| | V2 | 26,8 | 32,4 | 29,6 | 0,83 | | 0,91 | |
| | V3 | 26,0 | 30,2 | 30,1 | 0,86 | | 0,87 | |
| 2. NP | V6 A | 23,2 | 25,3 | - | 0,92 | 0,77 | - | - |
| | V12 A | 20,4 | 31,3 | - | 0,65 | | - | |
| | V16 | 19,4 | 25,9 | - | 0,75 | | - | |
| Kryt CO | V19 | 26,3 | 35,4 | 33,3 | 0,74 | 0,75 | 0,79 | 0,79 |
| | V20 | 22,8 | 30,0 | 29,6 | 0,76 | | 0,77 | |
| | V21 | 25,2 | 33,7 | 31,6 | 0,75 | | 0,80 | |
| priemer | | | | | | 0,79 | | 0,84 |

5. Posúdenie vybraného prvku

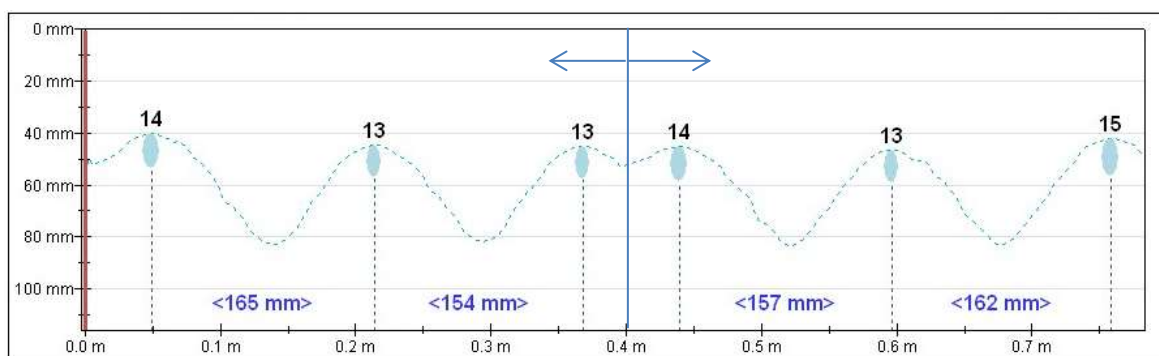
Pre statické posúdenie bol vybraný prvok, ktorý sa nachádza v bočnom krídle budovy železničného nádražia, ktoré tvorí dvojpodlažný železobetónový skelet s plochou strechou so šiestimi pozdĺžnymi a tromi priečnymi poľami s osovými vzdialenosťami 6750 mm. Podporujúce zvislé prvky sú stĺpy s rozmermi 400x400 mm a vodorovné nosné časti tvorí trámový strop zložený z priečných prievlakov. Konštrukčná výška podlažia je 4,0 m. Posudzovaný stĺp je situovaný v 2. NP a taktiež bol z neho odobraný vývrt V 13 (umiestnenie stĺpu je zrejmé z Obr. 32). Na základe stavebne technického prieskumu bola zistená pevnostná trieda betónu C 20/25 a identifikovaná rebierková výstuž typu J. Pomocou elektromagnetického indikátora bola výstuž lokalizovaná s určením priemeru (viď Obr. 50 a Obr. 51). Práve u tohto prvku bol zistený najslabší profil a najmenej výstuže, čo vedie k nutnosti overenia pomocou statického posúdenia. Statická analýza bola vypracovaná pomocou programov RFEM a IDEA StatiCa.

Pre statické posúdenie vybraného prvku boli vytvorené zaťažovacie stavy (vlastná tiaž; ostatné stále; užitné – šach 1, šach 2, plný šach; sneh; imperfekcie) pre šesť kombinácií na základe, ktorých boli vyhodnotené vnútorné sily v päte a v hlave stĺpu. Pre posúdenie podľa ČSN EN 1992-1-1 boli vybrané štyri najnepriaznivejšie kombinácie zaťaženia (pre päť stĺpu – KZ1, KZ2, KZ4 a pre hlavu stĺpu – KZ1). Vo všetkých prípadoch bolo pomocou interakčných diagramov preukázané, že vybraný stĺp vyhovuje na dané zaťaženie viď Príloha 2.

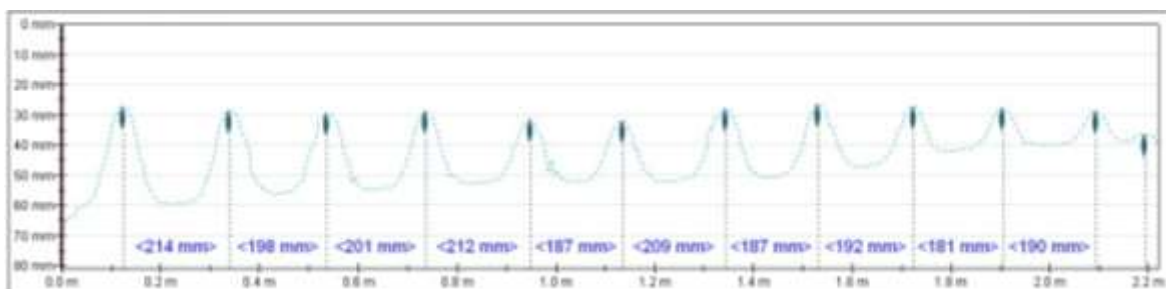


Obr. 49 Posudzovaný stĺp v 2.NP a lokalizácia výstuže pomocou elektromagnetického indikátora výstuže

Výstupy z elektromagnetického indikátora výstuže



Obr. 50 Rozloženie výstuže na dvoch stranách v posudzovanom stĺpe v 2. NP



Obr. 51 Rozloženie strmienok v posudzovanom stĺpe v 2. NP

6. Záver

Predmetom diplomovej práce bolo prevedenie prvotnej prehliadky a následne diagnostického prieskumu nádražnej budovy vo Vítkoviciach. Prieskum objektu okrem nedeštruktívnej diagnostiky betónu a nedeštruktívnej lokalizácie výstuže zahŕňal aj overenie vlastností betónu na jadrových vývrtoch odobratých z konštrukcie. Rozsah prieskumu vychádzal z požiadaviek projektu, za ktorého podpory táto diplomová práca vznikla. Práca bola prevedená v súlade s jej zadáním a všetky požadované ciele boli splnené vrátane statického posúdenia kritického prvku.

Na základe prevedených diagnostických skúšok bolo zistené, že betón je vo všetkých častiach konštrukcie rovnomerný s objemovou hmotnosťou 2250 kg/m^3 . Z hľadiska pevnosti, betón v konštrukcii spĺňa požiadavky prislúchajúce pevnostnej triede C 20/25 a vzhľadom k dobe vzniku a veku konštrukcie je kvalitný a stále vo veľmi dobrom stave.

Stavebne technickým prieskumom boli vyhodnotené aj dynamické a statické moduly pružnosti. Hodnoty statického modulu pružnosti stanovené zaťažovacou skúškou v lise, sa pohybujú v rozmedzí od 19 GPa do 27 GPa a zodpovedajú pevnostnej triede betónu C 12/15. Tieto hodnoty sú však nižšie ako hodnoty prislúchajúce stanovenej pevnostnej triede betónu C 20/25 a zrejme súvisia s použitým druhom ťaženého hrubého kameniva, ktoré má výrazný vplyv na zníženie modulu pružnosti betónu.

Posudzovaný kritický prvok (stĺp v 2. NP) bezpečne vyhovел pre stávajúce zaťaženie. Železobetónové nosné konštrukcie objektu nevykazujú žiadne významné poruchy a zrejme by vyhoveli pre ďalšie využitie objektu pri zachovaní pôvodnej dispozície a účelu používania. V prípade zmeny vo využití konštrukcie by však bolo potrebné konštrukciu znovu posúdiť.

7. Zoznam použitých zdrojov

- [1] HOBST, Leonard, Jiří ADÁMEK, Petr CIKRLE a Pavel SCHMID. *Diagnostika stavebních konstrukcí: Průvodce předmětem*. Brno: FAST VUT v Brně, 2005.
- [2] VLČEK, Milan a Petr BENEŠ. *Poruchy a rekonstrukce staveb*. Brno: FAST VUT v Brně, 2006.
- [3] HOLICKÝ, Milan a kol. *Příručka pro hodnocení existujících konstrukcí*. 1. vydání. Praha: Česká technika - ČVUT v Praze, 2007. ISBN 978-80-01-03790-4.
- [4] SCHMID, Pavel. *Zkušebnictví a technologie: Modul BI02-M02 Stavební zkušebnictví* [online]. Brno: VUT v Brně, FAST, 2004 [cit. 2016-11-17]. Dostupné z: <https://intranet.study.fce.vutbr.cz/studium/materialy/opory.asp>
- [5] ANTON, Ondřej. *Zkušebnictví a technologie: Modul BI02-M04 Stavební zkušebnictví* [online]. Brno: VUT v Brně, FAST, 2004 [cit. 2016-11-19]. Dostupné z: <https://intranet.study.fce.vutbr.cz/studium/materialy/opory.asp>
- [6] HEŘMÁNKOVÁ, V. a kolektiv. *Zkušebnictví a technologie - cvičebnice*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 100 s. ISBN 978-80-7204-758-1.
- [7] ČSN 73 1370. *Nedestruktivní zkoušení betonu: Společná ustanovení*. Praha: Technický a zkušební ústav stavební, 2011.
- [8] ČSN 73 1371. *Nedestruktivní zkoušení betonu - Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkoušebnictví, 2011.
- [9] ČSN ISO 13822: *Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkoušebnictví, 2014.
- [10] ČSN 73 0038: *Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí – Doplňující ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkoušebnictví, 2014.
- [11] ČSN 73 2011. *Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí*. Praha: Technický a zkušební ústav stavební, 2012.
- [12] ČSN 73 2011. *Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí*. Praha: Technický a zkušební ústav stavební, 2012.
- [13] ČSN EN 13791. *Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích*. Praha: Český normalizační institut, 2007.

- [14] ČSN ISO 1920-10: *Zkoušení betonu - Část 10: Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní skúšenbnictví, 2014.
- [15] ANTON, Ondřej a Petr CIKRLE. *Betonové konstrukce památek a hodnocení na základě užití NDT metod*[online]. 2016 [cit. 2016-11-17]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/14612-betonove-konstrukce-pamatek-a-hodnoceni-na-zaklade-uziti-ndt-metod>
- [16] CIKRLE, Petr a Dalibor KOCÁB. *Dynamiccké a statické moduly pružnosti betonu* [online]. 2014 [cit. 2016-11-18]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/10746-dynamicke-a-staticke-moduly-pruznosti-betonu>
- [17] CIKRLE, Petr a Ondřej pospíchal. *Nový způsob stanovení mrazuvzdornosti betonu s využitím metod pro sledování poruch struktury* [online]. 2011 [cit. 2016-11-18]. Dostupné z: http://www.betontks.cz/sites/default/files/2011-3-56_0.pdf
- [18] ANTON, Ondřej, Petr CIKRLE a Věra HEŘMÁNKOVÁ. *Zkušenosti s georadarem při stavebně technických průzkumech* [online]. 2014 [cit. 2016-11-19]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/10800-zkusenosti-s-georadarem-pri-stavebne-technicky-pruzkumech>
- [19] HOBST, Leonard. *Krátké ohlédnutí za vývojem radiačních metod ve stavebnictví za posledních 25 let* [online]. 2015 [cit. 2016-11-20]. Dostupné z: <http://www.betontks.cz/sites/default/files/2015-3-08.pdf>
- [20] *Diagnostika betonových a železobetonových konstrukcí* [online]. In: . [cit. 2016-10-20]. Dostupné z: https://www.fast.vsb.cz/export/sites/fast/206/cs/resene-projekty/frvs-2009-2529/6_diagnostics_betonovykh_a_zelezobetonovykh_konstrukci.pdf
- [21] *Diagnostika betonových konstrukcí* [online]. In: . [cit. 2016-10-20]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/rekonstrukce-staveb/diagnostika-betonovykh-konstrukci>
- [22] *Metodika hodnocení spolehlivosti a životnosti staveb* [online]. Praha, 2015 [cit. 2016-10-24]. Dostupné z: http://www.klok.cvut.cz/wp-content/uploads/2016/02/Metodika_Hodnoceni_spolehlivosti_a_zivotnosti_industrialnich_staveb.pdf
- [23] *Modul pružnosti betónu* [online]. [cit. 2016-10-30]. Dostupné z: http://www.betonracio.sk/betonracio/downloads/modul_pruznosti.pdf

- [24] *Schmidt Hammer Type N* [online]. [cit. 2016-11-17]. Dostupné z: <http://pcte.com.au/images/NDT-Equipment-images/SchmidtHammer/2.jpg>
- [25] *Proceq* [online]. [cit. 2016-11-19]. Dostupné z: <http://www.proceq.com/nondestructivetestequipment/concrete-testing/cover-meter-rebar-detector/profometer-630-ai-650-ai.html>
- [26] *Hilti* [online]. [cit. 2016-11-19]. Dostupné z: <https://www.us.hilti.com/measuring-systems/detection-systems/r83732#>
- [27] *Ústav stavebního zkušebnictví* [online]. [cit. 2016-11-20]. Dostupné z: <http://www.szk.fce.vutbr.cz/>
- [28] *Wikipedie: Bruselský styl* [online]. [cit. 2016-11-24]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Bruselsk%C3%BD_styl
- [29] *Umělecká výzdoba nádraží Ostrava-Vítkovice* [online]. [cit. 2016-11-24]. Dostupné z: <http://www.nadrazivtkovice.cz/?p=106>
- [30] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2016-11-24]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=18.2677990&y=49.8010465&z=16>
- [31] *Stavba železniční stanice Ostrava-Vítkovice* [online]. [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: <http://www.nadrazivtkovice.cz/?p=92>
- [32] *Ultrasonic NDT Inspection Device: Pundit PL-200* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/proceq/ultrasonic-ndt-inspection-devices-7242-1354737.html>

8. Zoznam obrázkov, tabuliek a grafov

8.1. Zoznam obrázkov

- Obr. 1** Znázornenie rôznych modulov pružnosti [23]
- Obr. 2** Schematické znázornenie vzťahu napätie – pomerné pretvorenie z ČSN EN 1992-1-1 [23]
- Obr. 3** Tvrdomer Schmidt typu N [24]
- Obr. 4** Prístroj Pundit PL 200 [32]
- Obr. 5** Jadrový vývrt betónovej konštrukcie
- Obr. 6** Miesta vyvodenia impulzov a miesta
- Obr. 7** Príprava merania rezonančných
- Obr. 8** Meranie priečného kmitania

- Obr. 9** Znáznornenie odozvy prístroja a jeho obmedzenie pri malej vzdialenosti jednotlivých prútov výstuže [5]
- Obr. 10** Profometer PM 630 [25]
- Obr. 11** Meranie pomocou Profometeru PM 630
- Obr. 12** Meranie pomocou georadaru
- Obr. 13** Georadar Hilti PS 1000 [26]
- Obr. 14** Príklad zaznamenania polohy
- Obr. 15** Gamagrafický kryt [27]
- Obr. 16** Uplatnenie bruselského štýlu v interiéri nádražnej budovy vo Vítkoviciach [29]
- Obr. 17** Umiestnenie objektu [30]
- Obr. 18** Pohľad na objekt [30]
- Obr. 19** Konštrukcia nadchodu, nástupíšť [31]
- Obr. 20** Oceľová konštrukcia haly [31]
- Obr. 21** Pohľad na nádražie v súčasnosti [31]
- Obr. 22** Zaznamenaná trhlina v stene v 1. NP
- Obr. 23** Poruchy v stropnej konštrukcii v 1. NP
- Obr. 24** Lokalizácia výstuže pomocou Profometru PM 630
- Obr. 25** Použitie meracieho systému Hilti PX 10
- Obr. 26** Určovanie polohy výstuže pomocou georadaru Hilti PS 1000
- Obr. 27** Kriedou nakreslený raster vystuženia stĺpu
- Obr. 28** Zhotovovanie jadrového vývrtu
- Obr. 29** Meranie hĺbky vývrtu
- Obr. 30** Vyberanie jadrového vývrtu z konštrukcie
- Obr. 31** Vľavo – nákres 1. NP; Vpravo – schéma priestoru pokladní s vyznačením skúšobných miest V1, V2 a V3
- Obr. 32** Nákres 2. NP s vyznačením skúšobných miest
- Obr. 33** Vyznačenie skúšobných miest v kryte CO
- Obr. 34** Jadrový vývrt V20 odobratý v kryte CO s hĺbkou skarbonatovanej vrstvy 50 mm
- Obr. 35** Skúšobné telesá z jadrových vývrtov Ø 50: V1, V2 a V3
- Obr. 36** Skúšobné telesá z jadrových vývrtov Ø 75: V6, V8, V10, V12, V14, V16
- Obr. 37** Skúšobné telesá z jadrových vývrtov Ø 75: V7, V9, V13, V15, V17, V18
- Obr. 38** Skúšobné telesá z jadrových vývrtov Ø 75: V19, V20, V21
- Obr. 39** Meranie doby priechodu UZ vln pomocou prístroja Pundit PL 200

- Obr. 40** Meranie pozdĺžnej frekvencie
- Obr. 41** Meranie priečnej frekvencie
- Obr. 42** Zaťažovanie a drtenie skúšobnej vzorky V21 pre zistenie maximálnej sily F
- Obr. 43** Vľavo – schéma umiestnenia meračov deformácií; vpravo – umiestnenie tenzometru na vzorku
- Obr. 44** Priebeh cyklov zaťažovacej
- Obr. 45** Skúšobný lis FORM+TEST
- Obr. 46** Meranie statického modulu pružnosti v zaťažovacom lise
- Obr. 47** Skúšobné telesá pre stanovenie statického modulu pružnosti
- Obr. 48** Priebeh skúšky statického modulu pružnosti na telese V6
- Obr. 49** Posudzovaný stĺp v 2.NP a lokalizácia výstuže pomocou elektromagnetického indikátora výstuže
- Obr. 50** Rozloženie výstuže na dvoch stranách v posudzovanom stĺpe v 2. NP
- Obr. 51** Rozloženie strmienok v posudzovanom stĺpe v 2. NP
- Obr. I** Vzorka V01
- Obr. II** Vzorka V02
- Obr. III** Vzorka V03
- Obr. IV** Vzorka V06
- Obr. V** Vzorka V07
- Obr. VI** Vzorka V08
- Obr. VII** Vzorka V09
- Obr. VIII** Vzorka V10
- Obr. IX** Vzorka V12
- Obr. X** Vzorka V13
- Obr. XI** Vzorka V14
- Obr. XII** Vzorka V15
- Obr. XIII** Vzorka V16
- Obr. XIV** Vzorka V17
- Obr. XV** Vzorka V18
- Obr. XVI** Vzorka V19
- Obr. XVII** Vzorka V20
- Obr. XVIII** Vzorka V21

8.2. Zoznam tabuliek

| | |
|----------------|--|
| Tab. 1 | Hľadiská pri posudzovaní funkčných požiadaviek na spoľahlivosť konštrukcií |
| Tab. 2 | Druhy, značky, triedy betónov a prevod značenia [10] |
| Tab. 3 | Tvary betonárskych výstuží [10] |
| Tab. 4 | Počet skúšobných miest [11] |
| Tab. 5 | Hodnoty max. variačného súčiniteľa V_x a rozdielu Δ na susedných miestach [11] |
| Tab. 6 | Hodnoty súčiniteľa pre prepočet dynamického modulu pružnosti na statický modul |
| Tab. 7 | Súčiniteľ k_n pre stanovenie 5% kvantilu (charakteristickej hodnoty) [9] |
| Tab. 8 | Minimálna charakteristická pevnosť betónu v tlaku podľa ČSN EN 13791[13] |
| Tab. 9 | Výhody a nevýhody nedeštruktívnych a deštruktívnych metód |
| Tab. 10 | Porovnanie metód pre stanovenie pevnosti v tlaku |
| Tab. 11 | Porovnanie metód pre zisťovanie vystuženia betónu |
| Tab. 12 | Hĺbky skarbonatovanej vrstvy jednotlivých vývrtov |
| Tab. 13 | Namerané hodnoty vybraných skúšobných telies a vyhodnotená objemová hmotnosť |
| Tab. 14 | Pevnosť betónu v tlaku (valcová a kubická) |
| Tab. 15 | Vyhodnotenie charakteristickej pevnosti v tlaku podľa ČSN ISO 13822 |
| Tab. 16 | Vyhodnotenie charakteristickej pevnosti v tlaku podľa ČSN EN 13791 |
| Tab. 17 | Namerané hodnoty vybraných skúšobných telies a vyhodnotená objemová hmotnosť |
| Tab. 18 | Dynamický modul pružnosti stanovený z rýchlosti šírenia UZ vĺn |
| Tab. 19 | Statický modul pružnosti |
| Tab. 20 | Dynamický modul pružnosti stanovený rezonančnou metódou |
| Tab. 21 | Statický modul pružnosti |
| Tab. 22 | Hodnoty dynamických modulov pružnosti |
| Tab. 23 | Rozdiely dynamických modulov pružnosti |
| Tab. 24 | Namerané hodnoty a vyhodnotenie statického modulu pružnosti |
| Tab. 25 | Hodnoty zmenšujúcich koeficientov κ_u a κ_r pre prepočet dynamických pružnosti na statické |

8.3. Zoznam grafov

- Graf 1** Porovnanie dynamických modulov pružnosti z merania ultrazvukovou a rezonančnou metódou
- Graf 2** Grafické znázornenie rozdielov medzi jednotlivými typmi dynamických modulov pružnosti
- Graf 3** Výsledok skúšky statického modulu pružnosti betónu

9. Zoznam veličín, symbolov a skratiek

| | |
|--------------|--|
| ČSN | Česká technická norma |
| ČSN EN | Česká verzia európskej normy |
| EN | Európska norma |
| GPR | Georadar |
| STP | Stavebne technický prieskum |
| d | Priemer valca [mm] |
| D_r | Objemová hmotnosť skúšobného vzorku [kg.m^{-3}] |
| E | Modul pružnosti [MPa] |
| E_c | Statický modul pružnosti [MPa] |
| E_{cu} | Dynamický modul pružnosti stanovený ultrazvukovou impulznou metódou [MPa] |
| E_{cr} | Dynamický modul pružnosti stanovený rezonančnou metódou [MPa] |
| $E_{cr,f}$ | Modul pružnosti betónu pri priečnom kmitaní [MPa] |
| $E_{cr,L}$ | Modul pružnosti betónu pri pozdĺžnom kmitaní [MPa] |
| F | Sila na porušení vzorky, Sila zatlačovania [kN] |
| G_{cr} | Modul pružnosti betónu v šmyku [MPa] |
| f_b | Spresnená pevnosť betónu v tlaku [MPa] |
| f_{be} | Pevnosť betónu v tlaku s nezaručenou pevnosťou [MPa] |
| f_{bei} | Pevnosť betónu v tlaku s nezaručenou presnosťou i-tého skúšobného vzorku [MPa] |
| f_{bi} | Pevnosť betónu v tlaku i-tého skúšobného vzorku [MPa] |
| f_c | Pevnosť v tlaku [MPa] |
| $f_{c,cube}$ | Kocková pevnosť v tlaku [MPa] |

| | |
|--------------------|--|
| $f_{c,cyl}$ | Valcová pevnosť v tlaku [MPa] |
| f_{ck} | Charakteristická pevnosť betónu v tlaku [MPa] |
| $f_{ck,is}$ | Charakteristická pevnosť betónu v tlaku v konštrukcii zistená na jadrových vývrtoch [MPa] |
| f_f | Vlastná frekvencia priečneho kmitania [-] |
| $f_{is,najmenšia}$ | Najmenšia pevnosť betónu v tlaku zistená na vývrtoch [MPa] |
| f_L | Vlastná frekvencia pozdĺžneho kmitania [-] |
| $f_{m(n),is}$ | Priemerná pevnosť betónu v tlaku stanovená na n počte vývrtov [MPa] |
| f_t | Vlastná frekvencia krúživého kmitania [-] |
| h | Výška valca [mm] |
| k_n | Súčiniteľ pre stanovenie 5% kvantilu [-] |
| k_3 | Súčiniteľ rozmernosti prostredia [-] |
| m_r | Hmotnosť skúšobného vzorku [kg] |
| m_x | Aritmetický priemer |
| n | počet skúšobných telies [-] |
| s_x | Smerodatná odchýlka [-] |
| v_L | Rýchlosť ultrazvukového (UZ) vlnenia [$m.s^{-1}$] |
| V_x | Variačný súčiniteľ [-] |
| α | Spresňujúci súčiniteľ [-] |
| ε | Pretvorenie [-] |
| λ | Štíhlosť [-] |
| $\kappa_{cy,cu}$ | Prevodný súčiniteľ pre prepočet valcovej pevnosti na kockovú [-] |
| $\kappa_{c,cy}$ | Opravný súčiniteľ [-] |
| $\kappa_{cy,d}$ | Opravný súčiniteľ [-] |
| κ_u | Zmenšujúci súčiniteľ pre prepočet dynamických modulov ultrazvukových na statický modul pružnosti [-] |
| κ_r | Zmenšujúci súčiniteľ pre prepočet dynamických modulov rezonančných na statický modul pružnosti [-] |
| σ | Napätie [MPa] |

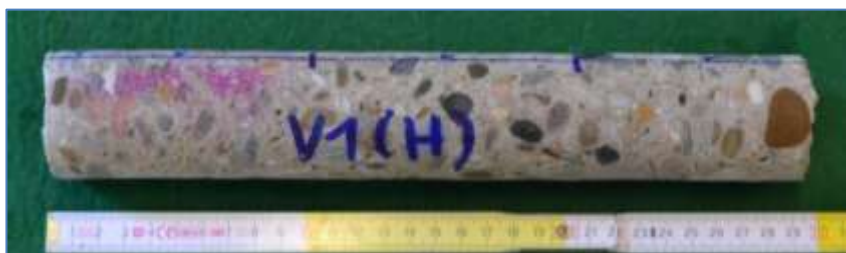
10. Zoznam príloh

Príloha 1 – Prehľad odobratých vývrtov

Príloha 2 – Statický výpočet

Príloha 1 – Prehľad odobratých vývrtov

V01 - Ø 50 mm



Obr. I Vzorka V01

Priemer: 50 mm, dĺžka: 300 mm, farba cementového tmelu: šedá, hĺbka skarbonatovanej vrstvy: 5 mm, kamenivo: ťažené, pravidelne rozmiestnené po výške vzorky, maximálna veľkosť zrna: 25 mm, odhad frakcie: 0-16 mm, pórovitosť: málo pórovitý, póry: 5 mm, dutiny: 10 mm (ojedinele), bez výstuže

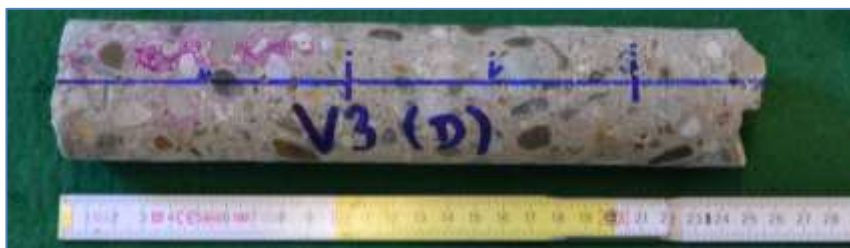
V02 - Ø 50 mm



Obr. II Vzorka V02

Priemer: 50 mm, dĺžka: 280 mm, farba cementového tmelu: šedá, hĺbka skarbonatovanej vrstvy: 5 mm, kamenivo: ťažené, pravidelne rozmiestnené po výške vzorky, maximálna veľkosť zrna: 45 mm, odhad frakcie: 0-22 mm, pórovitosť: málo pórovitý, póry: 3 mm, dutiny: 5 mm (ojedinele), bez výstuže

V03 - Ø 50 mm



Obr. III Vzorka V03

Priemer: 50 mm, dĺžka: 265 mm, farba cementového tmelu: šedá, bez skarbonatovanej vrstvy, kamenivo: ťažené, pravidelne rozmiestnené po výške vzorky, maximálna veľkosť zrna: 20 mm, odhad frakcie: 0-16 mm, pórovitosť: málo pórovitý, póry: 3 mm, bez dutín, bez výstuže

V06 - Ø 75 mm



Obr. IV1 Vzorka V06

Priemer: 75 mm, dĺžka: 255 mm, farba cementového tmelu: šedá, hĺbka skarbonatovanej vrstvy: 10 mm, kamenivo: ťažené, pravidelne rozmiestnené po výške vzorky, maximálna veľkosť zrna: 20 mm, odhad frakcie: 0-16 mm , pórovitosť: málo pórovitý, póry: 5 mm, bez dutín, bez výstuže

V07 - Ø 75 mm



Obr. V Vzorka V07

Priemer: 75 mm, dĺžka: 265 mm, farba cementového tmelu: šedá, bez skarbonatovanej vrstvy, kamenivo: ťažené, pravidelne rozmiestnené po výške vzorky, maximálna veľkosť zrna: 40 mm, odhad frakcie: 0-22 mm , pórovitosť: málo pórovitý, póry: 3 mm, bez dutín, bez výstuže

V08 - Ø 75 mm



Obr. VI Vzorka V08

Priemer: 75 mm, dĺžka: 255 mm, farba cementového tmelu: šedá, hĺbka skarbonatovanej vrstvy: 5 mm, kamenivo: ťažené, pravidelne rozmiestnené po výške vzorky, maximálna veľkosť zrna: 25 mm, odhad frakcie: 0-16 mm , pórovitosť: málo pórovitý, póry: 5 mm, bez dutín, bez výstuže

V09 - Ø 75 mm



Obr. VII Vzorka V09

Priemer: 75 mm, dĺžka: 290 mm, farba cementového tmelu: šedá, hĺbka skarbonatovanej vrstvy: 10 mm, kamenivo: ťažené, pravidelne rozmiestnené po výške vzorky, maximálna veľkosť zrna: 40 mm, odhad frakcie: 0-22 mm , pórovitosť: málo pórovitý, póry: 3 mm, bez dutín, bez výstuže

V10 - Ø 75 mm



Obr. VIII Vzorka V10

Priemer: 75 mm, dĺžka: 110 mm, farba cementového tmelu: šedá, hĺbka skarbonatovanej vrstvy: 5 mm, kamenivo: ťažené, pravidelne rozmiestnené po výške vzorky, maximálna veľkosť zrna: 25 mm, odhad frakcie: 0-16 mm , pórovitosť: málo pórovitý, póry: 3 mm, dutiny: 10 mm (ojedinele), bez výstuže

V12 - Ø 75 mm



Obr. IX Vzorka V12

Priemer: 75 mm, dĺžka: 250 mm, farba cementového tmelu: šedá, hĺbka skarbonatovanej vrstvy: 20 mm, kamenivo: ťažené, pravidelne rozmiestnené po výške vzorky, maximálna veľkosť zrna: 30 mm, odhad frakcie: 0-16 mm , pórovitosť: málo pórovitý, póry: 5 mm, bez dutín, bez výstuže

V13 - Ø 75 mm



Obr. X Vzorka V13

Priemer: 75 mm, dĺžka: 275 mm, farba cementového tmelu: šedá, bez skarbonatovanej vrstvy, kamenivo: ťažené, pravidelne rozmiestnené po výške vzorky, maximálna veľkosť zrna: 30 mm, odhad frakcie: 0-16 mm , pórovitosť: málo pórovitý, póry: 5 mm, bez dutín, bez výstuže

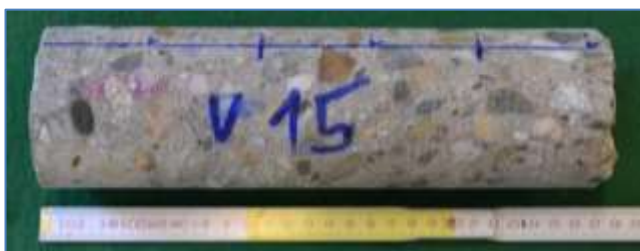
V14 - Ø 75 mm



Obr. XI2 Vzorka V14

Priemer: 75 mm, dĺžka: 190 mm, farba cementového tmelu: šedá, hĺbka skarbonatovanej vrstvy: 35 mm, kamenivo: ťažené, pravidelne rozmiestnené po výške vzorky, maximálna veľkosť zrna: 25 mm, odhad frakcie: 0-16 mm , pórovitosť: málo pórovitý, póry: 5 mm, bez dutín, bez výstuže

V15 - Ø 75 mm



Obr. XII Vzorka V15

Priemer: 75 mm, dĺžka: 275 mm, farba cementového tmelu: šedá, hĺbka skarbonatovanej vrstvy: 10 mm, kamenivo: ťažené, pravidelne rozmiestnené po výške vzorky, maximálna veľkosť zrna: 20 mm, odhad frakcie: 0-16 mm , pórovitosť: málo pórovitý, póry: 5 mm, bez dutín, bez výstuže

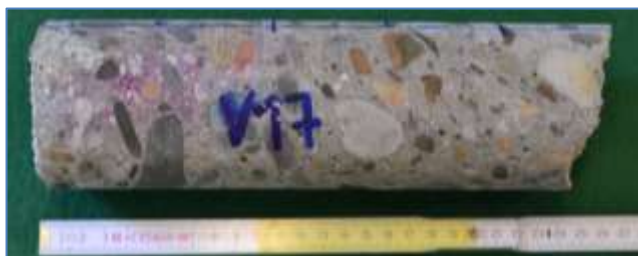
V16 - Ø 75 mm



Obr. XIII3 Vzorka V16

Priemer: 75 mm, dĺžka: 205 mm, farba cementového tmelu: šedá, hĺbka skarbonatovanej vrstvy: 10 mm, kamenivo: ťažené, pravidelne rozmiestnené po výške vzorky, maximálna veľkosť zrna: 40 mm, odhad frakcie: 0-22 mm , pórovitosť: málo pórovitý, póry: 5 mm, bez dutín, bez výstuže

V17 - Ø 75 mm



Obr. XIV Vzorka V17

Priemer: 75 mm, dĺžka: 260 mm, farba cementového tmelu: šedá, hĺbka skarbonatovanej vrstvy: 10 mm, kamenivo: ťažené, pravidelne rozmiestnené po výške vzorky, maximálna veľkosť zrna: 40 mm, odhad frakcie: 0-22 mm , pórovitosť: málo pórovitý, póry: 3 mm, bez dutín, bez výstuže

V18 - Ø 75 mm



Obr. XV Vzorka V18

Priemer: 75 mm, dĺžka: 250 mm, farba cementového tmelu: šedá, hĺbka skarbonatovanej vrstvy: 5 mm, kamenivo: ťažené, pravidelne rozmiestnené po výške vzorky, maximálna veľkosť zrna: 30 mm, odhad frakcie: 0-16 mm , pórovitosť: málo pórovitý, póry: 2 mm, bez dutín, bez výstuže

V19 - Ø 75 mm



Obr. XVI Vzorka V19

Priemer: 75 mm, dĺžka: 280 mm, farba cementového tmelu: šedá, hĺbka skarbonatovanej vrstvy: 30 mm, kamenivo: ťažené, pravidelne rozmiestnené po výške vzorky, maximálna veľkosť zrna: 40 mm, odhad frakcie: 0-22 mm , pórovitosť: málo pórovitý, póry: 3 mm, bez dutín, bez výstuže

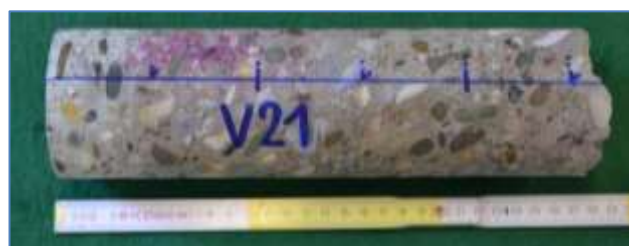
V20 - Ø 75 mm



Obr. XVII4 Vzorka V20

Priemer: 75 mm, dĺžka: 270 mm, farba cementového tmelu: šedá, hĺbka skarbonatovanej vrstvy: 50 mm, kamenivo: ťažené, pravidelne rozmiestnené po výške vzorky, maximálna veľkosť zrna: 25 mm, odhad frakcie: 0-16 mm , pórovitosť: málo pórovitý, póry: 5 mm, dutiny: 20 mm (ojedinele), bez výstuže

V21 - Ø 75 mm



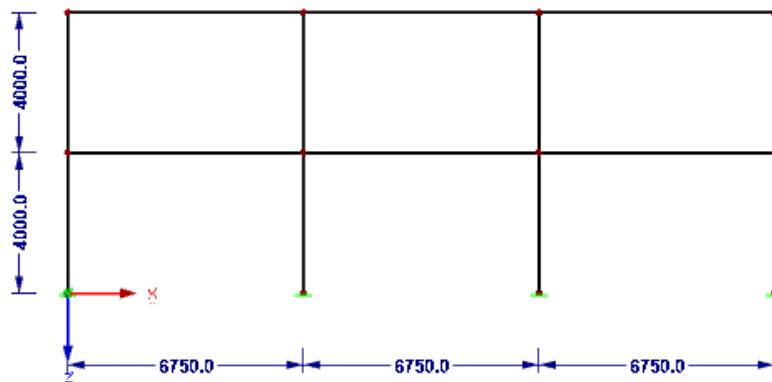
Obr. XVIII5 Vzorka V21

Priemer: 75 mm, dĺžka: 285 mm, farba cementového tmelu: šedá, hĺbka skarbonatovanej vrstvy: 40 mm, kamenivo: ťažené, pravidelne rozmiestnené po výške vzorky, maximálna veľkosť zrna: 25 mm, odhad frakcie: 0- 16 mm , pórovitosť: málo pórovitý, póry: 5 mm, dutiny: 20 mm (ojedinele), bez výstuže

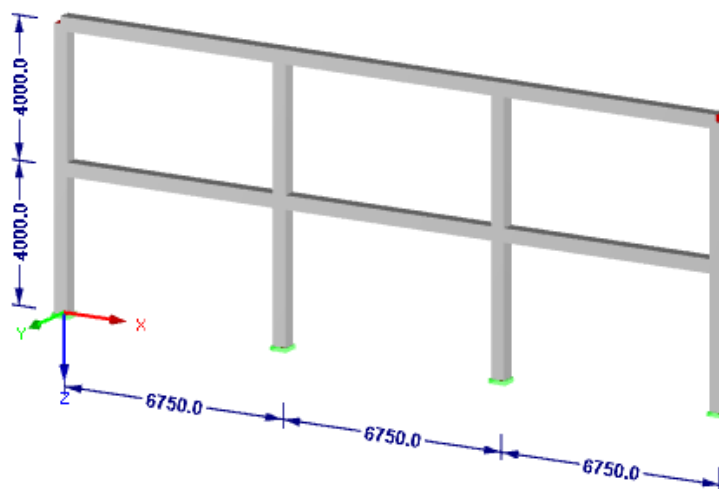
Príloha 2 – Statický výpočet

A. Geometria

- Model



- Perspektíva



B. Zat'azenie

| Zat'azenie | γ | γ | hrúbka | l_y | g | Σg |
|--|----------------------------------|----------------------|--------|-------|--------|------------|
| | [kN/m ²] | [kN/m ³] | [m] | [m] | [kN/m] | [kN/m] |
| Vlastná tiaž | Vypočítané pomocou softwaru | | | | | |
| Ostatné stále (tiaž dosky + skladba podláh) | 0,5 | | | 6,75 | 3,38 | 28,69 |
| | | 25 | 0,15 | 6,75 | 25,31 | |
| Sneh | 0,8 | | | 6,75 | 5,40 | |
| Užitné | 5 | | | 6,75 | 33,75 | |
| Imperfekcie | Vypočítané podľa ČSN EN 1992-1-1 | | | | | |

C. Zat'azovacie stavy

| Zať. stav | Označenie zať. stavu | Kategória účinkov |
|------------|----------------------|--|
| ZS1 | Vlastná tiaž | Stále |
| ZS2 | Ostatné stále | Stále/užité |
| ZS3 | Užité - šach 1 | Užité zaťaženie - kategória C: zhromažďovacie plochy |
| ZS4 | Užité - šach 2 | Užité zaťaženie - kategória C: zhromažďovacie plochy |
| ZS5 | Užité - plné | Užité zaťaženie - kategória C: zhromažďovacie plochy |
| ZS6 | Sneh | Sneh (H>1000 m n. m.) |
| ZS7 | Imperfekcie | Imperfekcie |

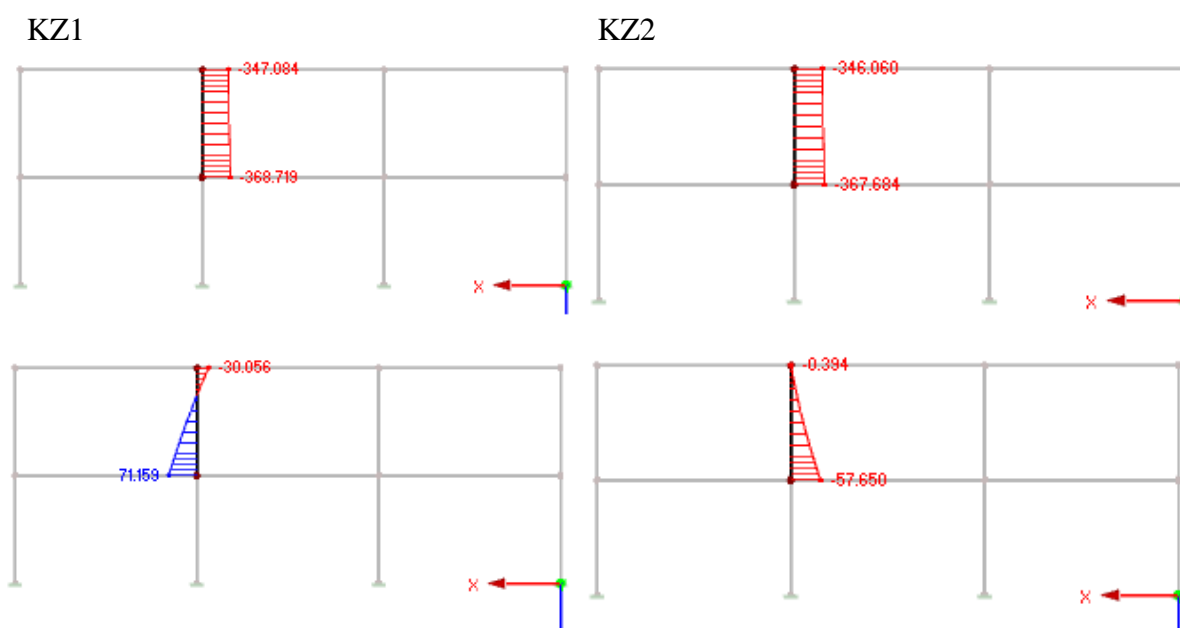
D. Kombinácie

Kombinácia zaťažení pre posúdenie na MSÚ bola stanovená podľa rovnice 6.10:

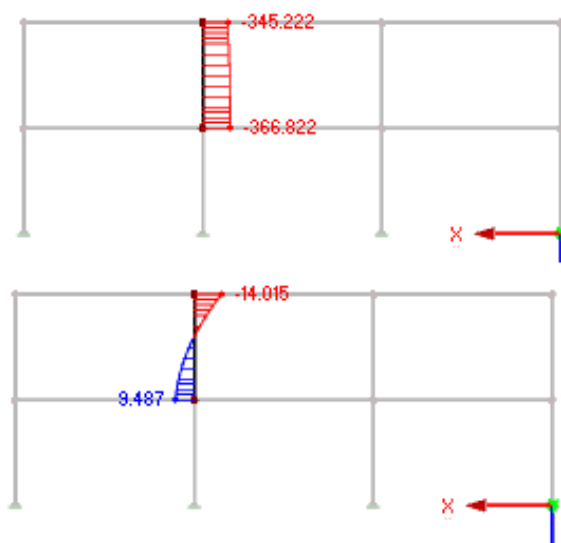
$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} \text{ „+“ } \gamma_P P \text{ „+“ } \gamma_{Q,1} Q_{k,1} \text{ „+“ } \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i},$$

kde súčiniteľ pre stále zaťaženie (nepriaznivé pôsobenie) $\gamma_G = 1,35$ a súčiniteľ pre premenné zaťaženie (nepriaznivé pôsobenie) $\gamma_Q = 1,50$. Kombinačný súčiniteľ $\psi_0 = 0,7$.

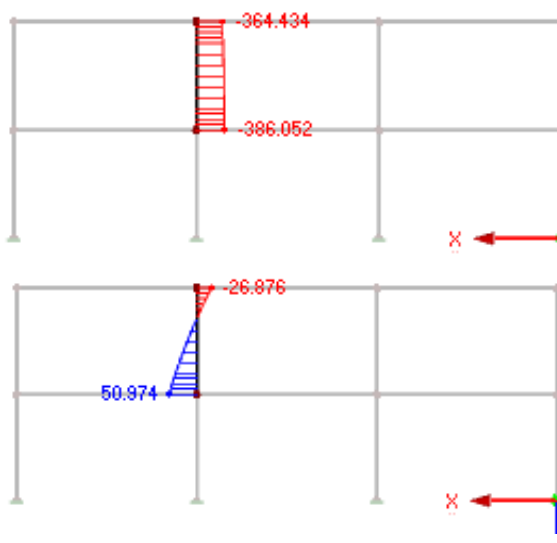
E. Vnútorne sily od kombinácií



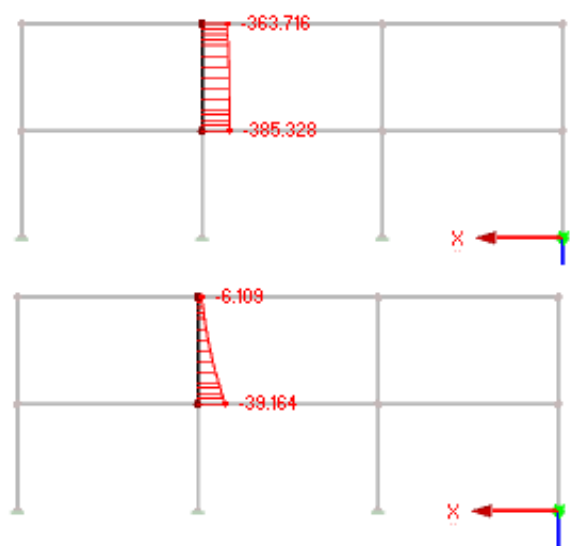
KZ3



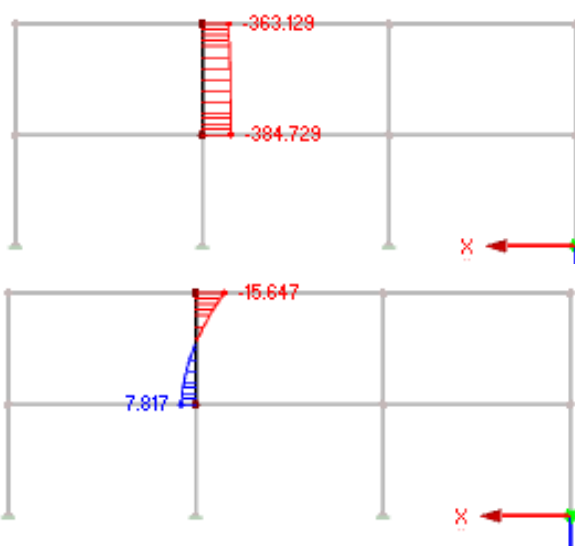
KZ4



KZ5



KZ6



F. Posúdenie stĺpu podľa ČSN EN 1992-1-1

Rám je spočítaný podľa teórie 2. rádu, kde sú zohľadnené geometrické imperfekcie.

Výrobné imperfekcie sú uvažované v zaťažovacom stave „Imperfekcie“ (ZS7).

- Materiálové charakteristiky**

Betón: C20/25 (zistené STP)

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 20 / 1,5 = 13,33 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,2 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 29 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3,4 \%$$

Ocel: 10 335 (J)

$$f_{yk} = 325 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 330 / 1,15 = 286,96 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

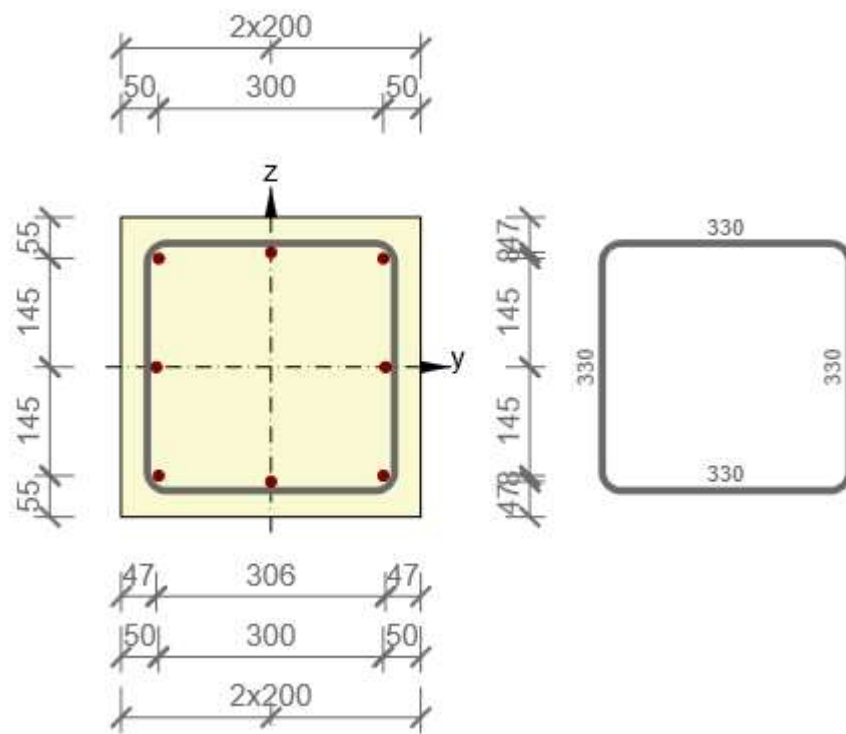
Výstuž: $\varnothing_{st} = 14 \text{ mm po } 145 \text{ mm (zistené STP)}$

$$A_{st} = 10,62 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Strmienka: $\varnothing_{tr} = 8 \text{ mm po } 250 \text{ mm (zistené STP)}$

$$A_{sw} = 2,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

- **Priečny rez a rozloženie výstuže**



- Interakčný diagram

Vnútročné sily od kombinácií:

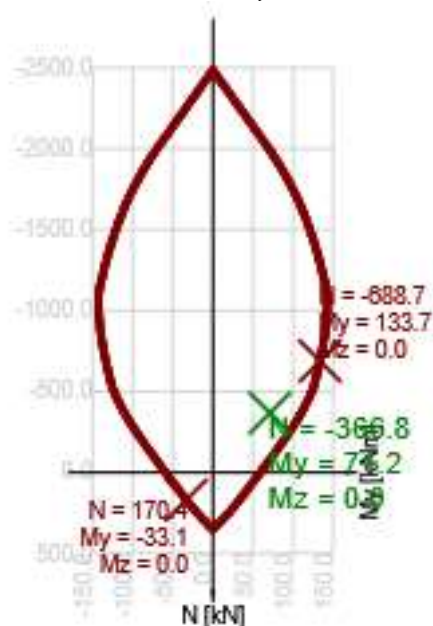
| Kombinácia | Päta stĺpu | | Hlava stĺpu | |
|------------|------------|-------|-------------|-------|
| | N | M | N | M |
| | [kN] | [kNm] | [kN] | [kNm] |
| KZ1 | -366,8 | 71,2 | -347,1 | -30,1 |
| KZ2 | -367,6 | -57,7 | -346,1 | -0,4 |
| KZ3 | -366,8 | 9,5 | -345,2 | -14,0 |
| KZ4 | -386,1 | 50,9 | -364,4 | -26,8 |
| KZ5 | -385,3 | -39,1 | -363,7 | -6,1 |
| KZ6 | -384,7 | 7,8 | -363,1 | -15,6 |

Kombinácia KZ1 – Päta stĺpu

| N_{Ed} [kN] | $M_{Ed,y}$ [kNm] | $M_{Ed,z}$ [kNm] | Typ | Hodonota [%] | Medza [%] | Posudok |
|------------------|---------------------|---------------------|----------|-----------------|--------------|---------|
| -366,8 | 71,2 | 0 | Nu-Mu-Nu | 53,3 | 100,0 | OK |

Návrhová únosnosť pri pôsobení ohybového momentu a normálovej sily

| Typ | F_{Ed} | F_{Rd1} | F_{Rd2} |
|-------------|----------|-----------|-----------|
| N [kN] | -366,8 | -688,7 | 170,4 |
| M_y [kNm] | 71,2 | 133,7 | -33,1 |
| M_z [kNm] | 0,0 | 0,0 | 0,0 |



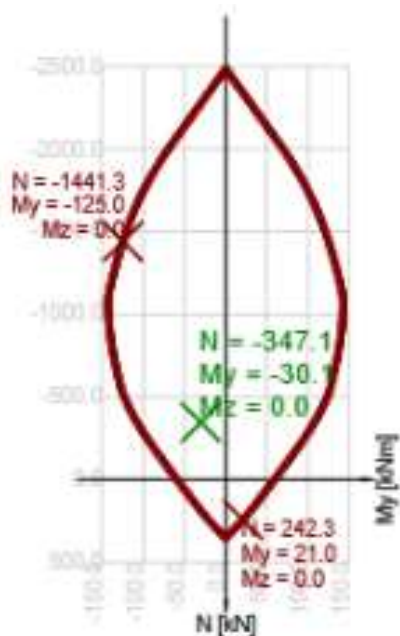
Hodnoty kombinácie ležia vo vnútri prierezu – prierez VYHOVUJE.

Kombinácia KZ1 – Hlava stĺpu

| N_{Ed} [kN] | $M_{Ed,y}$ [kNm] | $M_{Ed,z}$ [kNm] | Typ | Hodonota [%] | Medza [%] | Posudok |
|------------------|---------------------|---------------------|----------|-----------------|--------------|---------|
| -347,1 | -30,1 | 0 | Nu-Mu-Nu | 24,1 | 100,0 | OK |

Návrhová únosnosť pri pôsobení ohybového momentu a normálovej sily

| Typ | F_{Ed} | F_{Rd1} | F_{Rd2} |
|-------------|----------|-----------|-----------|
| N [kN] | -347,1 | -1441,3 | 242,3 |
| M_y [kNm] | -30,1 | -125,0 | 21,0 |
| M_z [kNm] | 0,0 | 0,0 | 0,0 |



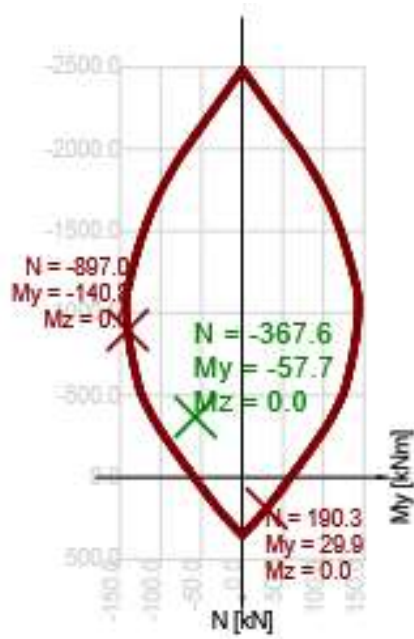
Hodnoty kombinácie ležia vo vnútri prierezu – prierez VYHOVUJE.

Kombinácia KZ2 – Päta stĺpu

| N_{Ed} [kN] | $M_{Ed,y}$ [kNm] | $M_{Ed,z}$ [kNm] | Typ | Hodonota [%] | Medza [%] | Posudok |
|------------------|---------------------|---------------------|----------|-----------------|--------------|---------|
| -367,6 | -57,7 | 0 | Nu-Mu-Nu | 41,0 | 100,0 | OK |

Návrhová únosnosť pri pôsobení ohybového momentu a normálovej sily

| Typ | F_{Ed} | F_{Rd1} | F_{Rd2} |
|-------------|----------|-----------|-----------|
| N [kN] | -367,6 | -897,0 | 190,3 |
| M_y [kNm] | -57,7 | -140,8 | 29,9 |
| M_z [kNm] | 0,0 | 0,0 | 0,0 |



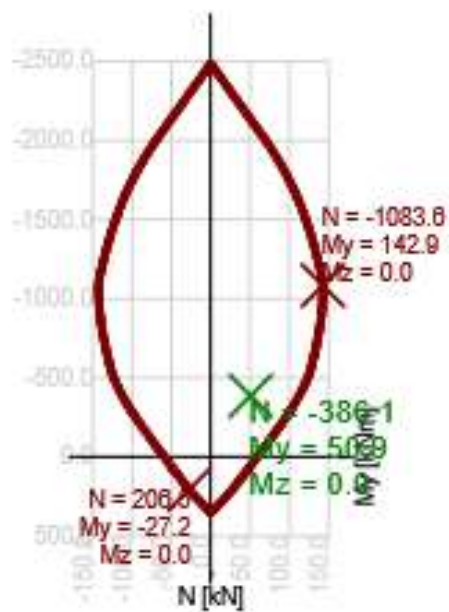
Hodnoty kombinácie ležia vo vnútri prierezu – prierez VYHOVUJE.

Kombinácia KZ4 – Päta stĺpu

| N_{Ed} [kN] | $M_{Ed,y}$ [kNm] | $M_{Ed,z}$ [kNm] | Typ | Hodonota [%] | Medza [%] | Posudok |
|------------------|---------------------|---------------------|----------|-----------------|--------------|---------|
| -386,1 | 50,9 | 0 | Nu-Mu-Nu | 35,6 | 100,0 | OK |

Návrhová únosnosť pri pôsobení ohybového momentu a normálovej sily

| Typ | F_{Ed} | F_{Rd1} | F_{Rd2} |
|-------------|----------|-----------|-----------|
| N [kN] | -386,1 | -1083,6 | 206,5 |
| M_y [kNm] | 50,9 | 142,9 | -27,2 |
| M_z [kNm] | 0,0 | 0,0 | 0,0 |



Hodnoty kombinácie ležia vo vnútri prierezu – prierez VYHOVUJE.